

Videreudvikling af ådalstypologi

- Grundvand- Overfladevand Interaktion (GOI)

Mette Dahl 1, Jesper Heidemann Langhoff 2, Brian Kronvang 3,
Bertel Nilsson 1, Steen Christensen 2, Hans Estrup Andersen 3,
Carl Christian Hoffmann 3, Keld Rømer Rasmussen 2, Frans
von Platen-Hallermund 1 og Jens Christian Refsgaard 1

1 Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse

2 Aarhus Universitet

3 Danmarks Miljøundersøgelser, Silkeborg

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	7
SUMMARY AND CONCLUSION	11
1 INDLEDNING	12
1.1 PROJEKTBAAGGRUND OG FORMÅL	12
1.2 GOI TYPOLOGIENS SAMMENHÆNG MED BASISANALYSEN AF VANDOMRÅDEDISTRIKTER	13
1.2.1 <i>Nitrats skæbne i det hydrologiske kredsløb</i>	15
1.2.2 <i>Problemområder forårsaget af nitrat</i>	17
1.2.3 <i>Tilstrømning til ådale</i>	17
1.3 TYPOLOGI FOR GRUNDEVAND / OVERFLADEVAND INTERAKTION	18
1.4 PROJEKTAFGRENSNING	18
1.5 FREMGANGSMÅDE VED UDARBEJDELSE AF NÆRVÆRENDE RAPPORT	18
1.6 RAPPORTENS INDHOLD – LÆSEVEJLEDNING	19
1.7 SAMMENFATNING	19
2 TYPOLOGI FOR INTERAKTION MELLEM GRUNDEVAND OG OVERFLADEVAND	21
2.1 INDLEDNING	21
2.2 KONCEPTUEL RAMME OG TERMINOLOGI I TYPOLOGIEN	21
2.3 GOI TYPOLOGIENS HIERARKISKE OPBYGNING	23
2.3.1 <i>Landskabstype</i>	23
2.3.2 <i>Ådalstype</i>	24
2.3.3 <i>Strømningsvariant</i>	25
2.4 SAMMENFATNING	26
3 LANDSKABSTYPER OG ÅDALSTYPER	27
3.1 LANDSKABSTYPER	27
3.1.1 <i>Morænelandskab (I)</i>	27
3.1.2 <i>Smeltevandsslette (II)</i>	27
3.1.3 <i>Havaflejring (III)</i>	27
3.1.4 <i>Fladedækkende ferskvandsaflejring (IV)</i>	29
3.1.5 <i>Klitlandskab (V)</i>	29
3.2 ÅDALSTYPER	29
3.2.1 <i>Ådalstyper i morænelandskab (1-5)</i>	29
3.2.2 <i>Ådalstyper på smeltevandssletten (6-9)</i>	31
3.2.3 <i>Ådalstyper på havaflejring (10-15)</i>	33
3.2.4 <i>Ådalstyper på fladedækkende ferskvandsaflejringer</i>	35
3.2.5 <i>Ådalstyper i klitlandskaber</i>	35
3.2.6 <i>Samlet oversigt over Ådalstyper</i>	35
3.3 SAMMENFATNING	39
4 STRØMNINGSVARIANTER	40
4.1 STRØMNINGVEJE OG NITRATREDUKTION I ÅDALE	40
4.1.1 <i>Strømningsveje gennem ådalen</i>	40
4.1.2 <i>Nitratreduktion for strømningsveje gennem ådalen</i>	42
4.2 FORDELING AF STRØMNINGSVEJE UNDER NATURLIGE STRØMNINGSFORHOLD	42

4.3	FORDELING AF STRØMNINGSVEJE UNDER PÅVIRKNING AF AFVANDING	43
4.3.1	<i>Detailafvanding</i>	47
4.3.2	<i>Hovedafvanding</i>	47
4.4	STRØMNINGSVARIANTER	48
4.4.1	<i>Diffus Strømningsvariant</i>	48
4.4.2	<i>Overfladisk Strømningsvariant</i>	48
4.4.3	<i>Direkte Strømningsvariant</i>	49
4.4.4	<i>Detailafvandet Strømningsvariant</i>	49
4.5	ÅDALES BEGRÆSENDE INDVIRKNING PÅ NITRATTILFØRSEL TIL OVERFLADEVAND	49
4.6	SAMMENFATNING	50
5	METODER TIL KLASSIFIKATION IFØLGE GOI TYPOLOGIEN	51
5.1	SAMLET NØGLE FOR GOI TYPOLOGI	51
5.2	KLASSIFIKATION IFØLGE GOI TYPOLOGI	51
5.3	METODER TIL KLASSIFIKATION AF LANDSKABSTYPE	52
5.4	METODER TIL KLASSIFIKATION AF ÅDALSTYPE	53
5.4.1	<i>Afgrænsning af Ådalsmagasin</i>	53
5.4.2	<i>Ådalens geomorfologi</i>	54
5.4.3	<i>Tilgrænsende hydrogeologisk enhed</i>	54
5.4.4	<i>Samlet konceptualisering og klassifikation af Ådalstype</i>	57
5.5	METODER TIL KLASSIFIKATION AF STRØMNINGSVARIANT	57
5.5.1	<i>Geologi i Ådalsmagasinet</i>	57
5.5.2	<i>Menneskelige indgreb</i>	58
5.5.3	<i>Indikatorer for strømningsveje</i>	58
5.5.4	<i>Samlet konceptualisering og klassifikation af Strømningsvariant</i>	61
5.6	SAMMENFATNING	61
6	TIPOLOGI OG PARAMETRE PÅ VELKENDTE ÅDALSLOKALITETER	62
6.1	INDLEDNING	62
6.2	HYDRAULISKE PARAMETRE UDFRA LITTERATUREN	62
6.2.1	<i>Hydraulisk ledningsevne</i>	62
6.2.2	<i>Effektiv porøsitet</i>	63
6.2.3	<i>Lækagekoefficient</i>	64
6.3	KLASSIFIKATION AF VELKENDTE ÅDALSLOKALITETER I MORÆNELANDSKAB	64
6.3.1	<i>Stevns Å</i>	64
6.3.2	<i>Gjern Å</i>	67
6.4	KLASSIFIKATION AF VELKENDTE ÅDALSLOKALITETER PÅ SMELTEVANDSSLETTE	67
6.4.1	<i>Rabis Bæk</i>	67
6.4.2	<i>Karup Å</i>	69
6.4.3	<i>Haller Å</i>	72
6.4.4	<i>Storå</i>	72
6.5	SAMMENFATNING	72
7	FELTVERIFICERING AF KLASSIFIKATION	75
7.1	FORMÅL	75
7.2	METODE	75
7.2.1	<i>Klassifikation af Ådalstype</i>	75
7.2.2	<i>Klassifikation af Strømningsvariant</i>	75
7.3	VOLDBY BÆK VED ANBÆK <i>Ådalstype</i>	76
7.3.2	<i>Strømningsvariant</i>	77
7.4	VOLDBY BÆK VED MØLGÅRDE	78

<i>Ådalstype</i>	78
7.4.2 <i>Strømningsvariant</i>	79
7.5 GELBÆK MELLEM PRISBRO OG LYNGBY BRO	80
<i>Ådalstype</i>	80
7.5.2 <i>Strømningsvariant</i>	81
7.6 GJERN Å VED SØBYVAD	82
<i>Ådalstype</i>	82
7.6.2 <i>Strømningsvariant</i>	83
7.7 GJERN Å VED SMINGEVAD	84
7.7.1 <i>Ådalstype</i>	84
7.7.2 <i>Strømningsvariant</i>	85
7.8 SAMMENFATNING	86
8 APPRØVNING AF GOI TYPOLOGI PÅ ET SANDET OPLAND	87
8.1 INDLEDNING	87
8.2 STORÅ – FRA UDSPRING TIL NISSUM FJORD	87
8.3 ARBEJDSGANG FOR KLASSIFIKATION	88
8.3.1 <i>Planlægning af arbejdsgang</i>	88
8.3.2 <i>Den aktuelle arbejdsgang</i>	88
8.4 GEOLOGISK AFLEJRINGSMILJØ (NIVEAU I)	89
8.5 LANDSKABSTYPER (NIVEAU II)	89
8.6 TILGRÆSENDE GRUNDEVANDSMAGASIN (NIVEAU III)	90
8.7 HOVEDTYPE (NIVEAU IV)	90
8.7.1 <i>Gludsted Plantage – Tulstrup Enge</i>	94
8.7.2 <i>Tulstrup Enge – Holingholt ved Viborgvej</i>	95
8.7.3 <i>Holingholt, 3 km strækning</i>	96
8.7.4 <i>Holingholt - Holstebro nedstrøms Vandkraftsøen</i>	96
8.7.5 <i>Holstebro by – Idom Å</i>	97
8.7.6 <i>Idom Å - Vemb</i>	98
8.7.7 <i>Vemb – Nissum Fjord</i>	99
8.8 STRØMNINGSVARIANTER	99
8.8.1 <i>Gludsted Plantage (Ådalstype 3 / Hovedtype 3)</i>	100
8.8.2 <i>Lille Yllebjerg (Ådalstype 7 / Hovedtype 7)</i>	101
8.8.3 <i>Navr Hede (Ådalstype 7 og 5 / Hovedtype 7 og 5)</i>	103
8.9 SAMMENFATNING	104
9 APPRØVNING AF GOI TYPOLOGI PÅ ET LERET OPLAND	105
9.1 INDLEDNING	105
9.2 ODENSE Å OPLANDET	106
9.3 KLASSIFIKATION AF LANDSKABSTYPER	110
9.4 KLASSIFIKATION AF ÅDALSTYPER	111
9.4.1 <i>Ådalens geomorfologi</i>	111
9.4.2 <i>Afgrænsning af Ådalsmagasin</i>	112
9.4.3 <i>Tilgrænsende hydrogeologisk enhed</i>	120
9.4.4 <i>Klassifikation af grundvandsmagasiner</i>	138
9.4.5 <i>Klassifikation af Ådalstype</i>	138
9.4.6 <i>Udpegning af ådalsstrækninger der modtager nitratholdigt grundvand</i>	140
9.5 VURDERING AF FORANSTALTNINGER TIL BEGRÆNSNING AF NITRATTILFØRSEL TIL OVERFLADEVAND	140
9.6 SAMMENFATNING	141
10 KRAVSPECIFIKATIONER TIL OPERATIONELLE VÆRKTØJER	142
10.1 LANDSKABSTYPER	142
10.2 ÅDALSTYPER	142
10.2.1 <i>Afgrænsning af Ådalsmagasin</i>	142
10.2.2 <i>Ådalens geomorfologi</i>	143

10.2.3	<i>Tilgrænsende hydrogeologisk enhed</i>	143
10.3	STRØMNINGSVARIANT	144
10.3.1	<i>Geologi i Ådalsmagasinet</i>	144
10.3.2	<i>Menneskelige indgreb</i>	144
10.3.3	<i>Indikatorer for strømningsveje</i>	144
11	ERFARINGER FRA WORKSHOP	146
11.1	DRÆN OG GOI TYPOLOGIEN	146
11.2	GOI TYPOLOGIENS ANVENDELSE I PRAKTISK MYNDIGHEDSARBEJDE	146
11.3	STYRKER / SVAGHEDER VED GOI TYPOLOGIEN	147
12	PERSPEKTIVERING OG VIDENSBEHOV	148
12.1	UDVIKLING AF OPERATIONELT GIS VÆRKTØJ	148
12.2	VURDERING AF PÅVIRKNING AF OVERFLADEVAND MED ANDRE STOFFER FRA GRUNDVANDET	148
12.3	DATA BEHOV	149
12.4	VIDENSBEHOV	150
12.5	SAMMENFATNING	151
13	REFERENCER	153
	BILAG. TYPOLOGI OG PARAMETRE FRA VELKENDTE ÅDALSLOKALITETER	157
	BILAG A: STEVNS Å	158
	BILAG B: GJERN Å	159
	BILAG C: RABIS BÆK	160
	BILAG D: KARUP Å	161
	BILAG E: HALLER Å	162
	BILAG F: STORÅ	163

Sammenfatning og konklusioner

EU's Vandrammedirektiv åbner mulighed for at basere kortlægning og klassifikation af vandforekomster, (Artikel 5 og Bilag II) på typologier. Herved gives der mulighed for, at vandområdedistriktsmyndigheder ikke skal overvåge hver eneste grundvandsforekomst. De kan i stedet grupperes efter type i relation til geologiske dannelsesmiljøer. Miljøstyrelsen har således i 2002, gennemført et projekt, hvori der er opstillet en typologi for Grundvand / Overfladevand Interaktion (GOI typologi) med henblik på at kunne vurdere ådalenes betydning for vandudveksling og stofomsætning ved overgangen fra grundvand til overfladevand (Nilsson et al, 2003). Nærværende projekt er en videreudvikling af GOI typologien og har til formål at:

- Afslutte den udviklede GOI typologi.
- Sammenstille parameterverdier af betydning for vurdering af ådalenes påvirkning af grundvandstilstrømningen til vandløbene.
- Afprøve GOI typologien på to danske vandløbsoplande (et sandet og et leret).
- Beskrive generelle kravspecifikationer til fremtidige værktøjer, der skal kunne operationalisere anvendelsen af GOI typologien.

GOI typologiens sammenhæng med basisanalysen af vandområdedistrikter er beskrevet. Under den generelle karakterisering foreslås GOI typologien således anvendt ved kortlægning af grundvandsmagasiner, der har direkte kontakt til overfladevand. Under den videregående karakterisering af truede grundvandsforekomster foreslås GOI typologien anvendt til at udarbejde skøn over udvekslingens retning og omfang mellem de truede grundvandsmagasiner og overfladevandet, samt beskrive vandkvaliteten i udvekslingen, hvor dette er relevant. For at identificere foranstaltninger, der kan sættes i værk i indsatsprogrammet for at opnå god tilstand i grundvandsforekomster og tilknyttede overfladevandområder foreslås ådalenes evne til at omsætte nitrat vurderet under anvendelse af GOI typologien, ligeledes hvor dette er relevant.

GOI typologien omhandler de grundvandsbetingede vådområder i Danmark, der ligger i ådalene langs vandløb. Interaktionen mellem grundvand og overfladevand betragtes i typologien som udvekslingen mellem tre enheder: den Tilgrænsende Hydrogeologiske Enhed, Ådalsmagasinet og vandløbet. Typologien er opbygget hierarkisk på grundlag af geologiske, geomorfologiske og hydrogeologiske forhold, således at den rumlige skala mindskes fra et typologisk niveau til det næste. Herved følges vandets vej fra den Tilgrænsende Hydrogeologiske Enhed, gennem Ådalsmagasinet til vandløbet.

Typologien er opbygget i tre niveauer. Det første niveau, Landskabstype, karakteriserer den regionale geomorfologiske og geologiske opbygning i oplandet. Landskabstypen anvendes til en overordnet vurdering af den hydrogeologiske situation og de deraf følgende tilstrømningsforhold for grundvand til ådalen. Der skelnes mellem:

- Morænelandskab (I)
- Smeltevandsslette (II)
- Havaflejring (III)
- Fladedækkende ferskvandsaflejring (IV)

- Klitlandskab (V).

Det andet niveau, Ådalstype, karakteriserer kontakten mellem ådalens Tilgrænsende Hydrogeologiske Enhed og Ådalsmagasinet, samt ådalens geomorfologi. Ådalstypen karakteriserer grundvandstilstrømningen til ådalen (dvs. til bunden af Ådalsmagasinet). På dette niveau opnås en forståelse af retning og omfang af udvekslingen mellem grundvandsmagasiner og overfladevand, samt et skøn over vandkvaliteten i udvekslingen, hvor dette er relevant. Der opnås desuden en dybere forståelse af hvilke hydrogeologiske lagenheder, der bidrager til vandføringen i vandløbet, samt hvor stor og stabil tilstrømningen til ådalen er fra disse enheder.

I typologien er der opstillet kriterier for klassifikation af Ådalstyperne. Inddelingskriterierne omhandler hydraulisk ledningsevne og størrelse eller tykkelse af den Tilgrænsende Hydrogeologiske Enhed samt ådalsmorfologien (primært relief). I GOI typologien er der identificeret:

- Fem Ådalstyper karakteristiske for morænelandskab (1-5)
- Fire Ådalstyper karakteristiske for smeltevandsslette (6-9)
- Seks Ådalstyper karakteristiske for havaflejringer (10-15).

Ådalstyper karakteristiske for fladedækkende ferskvandsaflejringer og klitlandskaber er omfattet af Ådalstyper beskrevet for smeltevandsslette og morænelandskab.

Det tredje niveau, Strømningsvariant, karakteriserer strømningen gennem ådalen til vandløbet. Den analyse, der foretages på dette niveau, kan benyttes til at vurdere, hvilke specifikke stoffer, der kan fjernes fra eller tilføres grundvandet under dets passage af ådalen, inden det når vandløbet, samt hvilke specifikke foranstaltninger der, for truede grundvandsforekomster, kan tages i anvendelse i ådalen for at mindske stoftilførslen fra grundvandet til overfladevandet.

Strømningsvarianterne er på nuværende tidspunkt specifikt udviklet til vurdering af ådales nitratreduktion. Strømningsveje gennem ådalen til overfladevandet er afgørende for hvorvidt og i hvor høj grad denitrifikation kan reducere grundvandets nitratindhold under passagen af ådalen. Fire strømningsveje er identificeret og defineret:

- Q₁ er en diffus strømning gennem Ådalsmagasinet. Vandet har, under reducerende forhold, kontakt med Ådalsmagasinet's sedimenter under en lang opholdstid (uger til år). Strømningsvejen har en anslået nitratreduktion på 10-97 %.
- Q₂ er overfladisk strømning henover Ådalsmagasinet. Vandet har en forholdsvis kort opholdstid i kontakt med Ådalsmagasinet's sedimenter (timer til dage) under skiftende oxiderende og reducerende forhold. Strømningsvejen har en anslået nitratreduktion på 50 %.
- Q₃ er en direkte strømning fra den Tilgrænsende Hydrogeologiske Enhed gennem bunden af vandløbet uden kontakt med Ådalsmagasinet's sedimenter. Strømningsvejen har en meget kort opholdstid (timer), og der er ingen anslået nitratreduktion.
- Q₄ er en strømning i dræn og grøfter forårsaget af detailafvanding tværs over og langs med ådalen. Vandet har praktisk talt ingen kontakt med Ådalsmagasinet's sedimenter, og det har en kort opholdstid (timer til dage). Strømningsvejen har ingen anslået nitratreduktion.

Afhængigt af hvilken strømningsvej, der vurderes at være dominerende i ådalen, skelnes der i typologien mellem fire Strømningsvarianter:

- Diffus Strømningsvariant
- Overfladisk Strømningsvariant
- Direkte Strømningsvariant
- Detailafvandet Strømningsvariant

Disse kan anvendes til at udpege hvilke ådale, der vurderes at have en aktiv nitratreduktion, hvilke ådale, der vurderes at have et potentiale for nitratreduktion, og hvilke ådale, der ikke kan forventes at have nitratreduktion af betydning. Herved kan det vurderes, hvor der ved retablering af en mere naturlig hydrologi i ådalene kan opnås de største miljøeffekter i overfladevandet.

I rapporten er metoder, der anvendes ved klassifikation ifølge GOI typologien, gennemgået. Der gives henvisning til, hvor relevante data kan findes, ligesom der gives anbefalinger til, hvilke GIS korttyper det er formålstjenligt at konstruere, sammenstille og anvende i de konceptuelle analyser, der foretages på de forskellige niveauer i typologien.

Der er sammenstillet litteraturværdier i tabelform for relevante strømningsmæssige parametre (hydraulisk ledningsevne, porøsitet og effektiv porøsitet) i Ådalsmagasinet til senere brug for kvantificering af grundvandstilstrømningen til overfladevand ved hjælp af numeriske modeller.

Herefter er typiske empiriske størrelser for geometriske, hydrauliske og nitratreduktionsmæssige parametre for Ådalstyper og Strømningsvarianter sammenstillet fra velundersøgte danske ådalslokalteter. Sammenstillingen repræsenterer parameterværdier fra to lerede vandløbsoplande (Stevns Å og Gjern Å) samt fra fire sandede vandløbsoplande (Rabis Bæk, Karup Å, Haller Å og Storå). Det fremgår, at parametersættene fra de seks vandløbsoplande generelt set er ukomplette i forhold til det sæt af parametre som nærværende typologi anbefaler indsamlet. Der vurderes således ikke at være tilstrækkeligt statistisk grundlag for, at parametersættene kan generaliseres. Det fremgår desuden af sammenstillingen, at tidligere undersøgelser næsten alle mangler kvantitative bestemmelser af den direkte tilstrømning gennem vandløbsbunden (Q_3). Flere af feltundersøgelserne har fokuseret på den overfladiske strømning (Q_2), strømningen i dræn og grøfter (Q_4), samt den del af den diffuse strømning (Q_1), som strømmer ud på engoverfladen og derfra fortsætter overfladisk til vandløbet.

Endelig følger tre forskellige afprøvninger af klassifikation ifølge GOI typologien:

1) I Gjern Åens morænelandskab er det for flere strækninger demonstreret, hvorledes Ådalstype og Strømningsvariant kan klassificeres i praksis på grundlag af kontormetoder efterfulgt af feltrekognoscering.

2) Afprøvning er også foretaget langs Storåens hovedløb på smeltevandssletten i Vestjylland med udgangspunkt i typologien, som den var beskrevet i Nilsson et al (2003) frem til Hovedtype (nu Ådalstype) niveau. Afprøvningen foregik interaktivt mellem en projektdeltager og to geologer ved Ringkjøbing Amt. Strømningsvarianter, ifølge den reviderede typologi beskrevet i denne rapport, blev for delstrækninger kortlagt af projektdeltageren.

3) Endelig er klassifikation afprøvet i Odense Å oplandet, der ligeledes ligger i et morænelandskab. Afprøvningen, der delvist er udført i samarbejde med Fyns Amt, er udført i overensstemmelse med arbejdsopgaver knyttet til basisanalysen af

vandområdedistrikter. Klassifikationen er foretaget for Sallinge Å og hovedløbet af Odense Å frem til udløbet i Odense Fjord. Klassifikationen blev foretaget på Landskabstype og Ådalstype niveau. Under afprøvningen er der lagt vægt på udvikling og afprøvning af operationelle analysemetoder udviklet i GIS systemet ARCVIEW i overensstemmelse med metodikken præsenteret i rapporten. Der er lagt vægt på at udvikle metoder til kortlægning af overfladenære grundvandsmagasiner på basis af jordartskort, da disse magasiner sandsynligvis ofte bidrager med nitratholdigt grundvand til ådalen. En særdeles væsentlig datakilde til en distribueret beskrivelse af retning og omfang af udvekslingen mellem grundvandsforekomster og overfladevand er synkrone målinger af medianminimumafstrømning, der danner basis for beregning af den specifikke baseflow afstrømning i vandløbene. Klassifikationen af Ådalstype efter disse metoder vurderes at kunne finde anvendelse ved udpegning af ådalsstrækninger, der modtager nitratholdigt grundvand. Sidstnævnte er dog *ikke* dokumenteret ved en egentlig feltverifikation, hvilket er nødvendigt i fremtiden. Det er langs disse strækninger Strømningsvarianten foreslås kortlagt.

På basis af de foreslåede og i et vist omfang afprøvede metodikker er en generel kravspecifikation til operationelle værktøjer beskrevet, så GOI typologien kan gøres operationel i form af egentlige GIS værktøjer i forbindelse med et eventuelt senere projekt.

Det foreslås at videreudvikle GOI typologien til også at kunne håndtere andre stoffer end nitrat (f.eks fosfor, tungmetaller, pesticider og hormonlignende stoffer), samt at kunne vurdere ådalenes indvirkning på begrænsning af tilførsel af disse andre stoffer til overfladevandet.

Summary and conclusion

The EU Water Framework Directive has outlined criteria for classification of the physical-chemical status of groundwater and surface water bodies, taking into account the quantitative status of a groundwater body having a potential impact on the ecological quality of surface waters interacting with that groundwater body. Good or bad status of individual groundwater bodies is expected to be defined in 2004. During the same period, a stream typology will be carried out in order to classify the ecological quality of different stream types in Denmark. A conceptual tool to identify groundwater bodies that interact with surface water bodies and wetlands has been developed, based on geological, hydrogeological and geomorphological concepts. The tool can be applied to evaluate wetland reduction of the nitrate flux from groundwater bodies and drains onto surface water.

The objectives of this study are:

- To update the typology of Groundwater–Surface water Interaction in Danish river valleys, presented in Nilsson et al. (2003)
- To compile relevant parameter sets from previous wetland studies in Denmark in order to evaluate wetland reduction of the nitrate flux from groundwater bodies and drains onto surface water.
- To specify requirements for GIS tools enabling future typology of Groundwater–Surface water Interaction operational capability for water management authorities.

The updated typology covers the following three scales: 1) A landscape level on catchment scale (10s of km); 2) a river valley level on reach scale (100s of m); 3) a flow path level on local scale (10s of m). The landscape level is divided into five representative landscape deposits: moraine, outwash plain, marine deposits, large freshwater deposits, and dune deposits. The GSI typology comprises a total of sixteen River Valley Types, distributed on five types having moraine landscape characteristics; four types on outwash plain deposits; and six types on marine deposits. River Valley Types on freshwater deposits and dune deposits are covered by moraine and outwash River Valley Types.

The Flow Path Type characterises the four potential flow paths through the River Valley Aquifer. The potential of nitrate reduction in the individual flow paths has been evaluated based on the following criteria in pathways: Redox condition, content of organic matter (more or less than 3%) and the residence time of the seepage water. Based on compiled data from previous wetland studies in Denmark, the Diffuse Flow Path is estimated to reduce nitrate content with 10–97%. The overland Flow Path renders a maximum of 50% nitrate reduction whereas groundwater discharging directly through the stream bed (the Direct Flow Path) and groundwater bypassing river valley deposits through drains and ditches, show typically negligible nitrate reductions.

The goal of applying GSI typology is to enable classification of stream reaches on 100s m scale as : 1) Active reduction of nitrate, 2) potential reduction of nitrate, or 3) no reduction of nitrate. However, this goal has not yet been reached due to lack of documentation from a systematic field verification programme in representative River Valley Types. A final project in 2004 has been designed to catch up on said lack of documentation.

1 Indledning

1.1 Projektbaggrund og formål

I EU's Vandrammedirektiv er der opstillet miljømål for grundvandet, som afspejler grundvandets sammenhæng med og betydning for den kemiske og økologiske tilstand i overfladevande, såsom vandløb, søer og kystvande, samt terrestriske økosystemer (vådområder og enge), 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).

Vandrammedirektivet åbner mulighed for at basere kortlægning og klassifikation af vandforekomster, (Artikel 5 og Bilag II) på typologier. Herved gives der mulighed for, at vandområdedistriktsmyndigheder ikke skal overvåge hver eneste grundvandsforekomst. De kan i stedet grupperes efter type i relation til geologiske dannelsesmiljøer. Miljøstyrelsen har således i 2002, gennemført et projekt, hvori der er opstillet en typologi for Grundvand / Overfladevand Interaktion (GOI typologi) med henblik på at kunne vurdere ådalenes betydning for vandudveksling og stofomsætning ved overgangen fra grundvand til overfladevand (Nilsson et al, 2003). Nærværende projekt er en videreudvikling af dette arbejde og har til formål at:

- Afslutte den udviklede GOI typologi.
- Sammenstille parameterverdier af betydning for vurdering af ådalenes påvirkning af grundvandstilstrømningen til vandløbene.
- Afprøve GOI typologien på to danske vandløbsoplande.
- Beskrive generelle kravspecifikationer til fremtidige værktøjer, der skal kunne operationalisere anvendelsen af GOI typologien.

Projektet er gennemført i samarbejde mellem GEUS, DMU og Aarhus Universitet i perioden februar 2003 til december 2003. Projektgruppen bestod af:

- Seniorforsker Bertel Nilsson, GEUS (projektleder)
- Forsker Mette Dahl, GEUS
- Geodatalog Frants von Platen-Hallermund, GEUS
- Seniorforsker Brian Kronvang, DMU
- Forsker Hans Estrup Andersen, DMU
- Seniorforsker Carl Christian Hoffmann, DMU
- Lektor Steen Christensen, AU
- PhD studerende Jesper Heidemann Langhoff, AU
- Lektor Keld Rømer Rasmussen, AU
- Forskningsprofessor Jens Christian Refsgaard, GEUS (intern kvalitetssikring)

Projektet havde en styregruppe bestående af:

- Martin Skriver, MST (formand)
- Bente Villumsen, MST
- Bertel Nilsson, GEUS
- Brian Kronvang, DMU
- Steen Christensen, AU
- Mette Dahl, GEUS

1.2 GOI typologiens sammenhæng med basisanalysen af vandområdedistrikter

Generel karakterisering

Som konsekvens af at den endelige vejledning til basisanalysen ikke foreligger Juni 2004 tages der i denne rapport udgangspunkt i den foreløbige beskrivelse af hvad basisanalysen samt den videregående karakterisering der foreligger i Miljøstyrelsen (2004) samt Villumsen (2003). Amterne skal i forbindelse med basisanalysen af vandområdedistrikter i 2004 udføre en generel karakterisering af grundvandet, hvori indgår en:

- Kortlægning af grundvandsforekomster, der har tilknyttede afhængige overfladevandssystemer og vådområder.

Arbejdsopgaver knyttet hertil består i:

- Kortlægning af den geologiske opbygning i oplandet.
- Kortlægning af grundvandsmagasiner, der har direkte kontakt til overfladevand.

Metoder til afgrænsning af grundvandsmagasiner er nærmere beskrevet i Miljøstyrelsen (2004). Kortlægningen baseres på eksisterende data og viden i amterne. Under den generelle karakterisering skal grundvandsforekomsterne klassificeres blandt andet på grundlag af deres kontakt med overfladevand, som illustreret i typologien for grundvandsforekomster i tabel 1.1.

Tabel 1.1 Typologi for grundvandsforekomster, samt vurdering af forekomsternes påvirkning af overfladevand.

Typologi for grundvandsforekomster

Påvirkning af overfladevand

Magasin bjergart	Kontakt med overfladevand	Redox-forhold	Type	Kvantitetsproblemer i overfladevand	Kvalitetsproblemer i overfladevand		
					Nitrat	Fosfor	Pesticider
Silikater	En del af året (lokal)	Oxideret	1				
		Reduceret	2				?
	Hele året (regional)	Oxideret	3				
		Reduceret	4			?	?
	Ingen (dyb)	Oxideret	5				
		Reduceret	6				
Karbonater	En del af året (lokal)	Oxideret	7				
		Reduceret	8				?
	Hele året (regional)	Oxideret	9				
		Reduceret	10			?	?
	Ingen (dyb)	Oxideret	11				
		Reduceret	12				

	Vurderes ikke problematisk
	Kan være problematisk
	Sandsynligvis problematisk

Den generelle karakterisering af grundvandet danner grundlag for en vurdering af, om det kan forventes at grundvandsforekomsterne kan opfylde miljømålene, dvs opnå *både god kvantitativ tilstand og god kemisk tilstand* inden 2015 (Miljøstyrelsen, 2004).

I relation til interaktion mellem grundvand og overfladevand kræver opnåelse af *god kvantitativ tilstand* for grundvandsforekomster, at grundvandstanden ikke må være så påvirket af menneskelige ændringer, at det vil medføre at:

- Tilknyttede overfladevandområder ikke kan opfylde deres miljømål.
- Der sker en væsentlig forringelse af tilstanden for sådanne overfladevandområder.
- Der sker en væsentlig skade på terrestriske økosystemer (vådområder), der er direkte afhængige af grundvandsforekomsten.

I relation til interaktion mellem grundvand og overfladevand kræver opnåelse af *god kemisk tilstand* for grundvandsforekomster, at koncentrationen af forurenende stoffer ikke må medføre at:

- Tilknyttede overfladevandområder ikke kan opfylde deres miljømål.
- Der sker en væsentlig forringelse af den økologiske eller kemiske kvalitet for sådanne overfladevandområder.
- Der sker en væsentlig skade på terrestriske økosystemer (vådområder), der er direkte afhængige af grundvandsforekomsten.

Kan disse krav ikke opnås betegnes grundvandsforekomsten som *truet*.

Videregående karakterisering

I de oplande, hvori der er kvantitative eller kemiske problemer i overfladevandet, der kan være forårsaget af påvirkninger fra grundvandstilstrømningen, skal der

foretages en videregående karakterisering af disse *truede grundvandsmagasiner*, hvorfra tilstrømningen stammer (Miljøstyrelsen, 2004). Under den videregående karakterisering, der finder sted efter 2004, skal:

- Udvekslingen vurderes nærmere med henblik på at analysere problemets omfang.
- Mulige foranstaltninger identificeres, der kan iværksættes i indsatsprogrammet for at opnå god tilstand i grundvandsforekomsten.

Arbejdsopgaver knyttet til den videregående karakterisering består således i at udarbejde:

- Et skøn over udvekslingens retning og omfang mellem de truede grundvandsforekomster og overfladevandet.
- Beskrive vandkvaliteten i udvekslingen, hvor dette er relevant.

Karakteriseringen omfatter også relevante oplysninger om effekterne af menneskelige påvirkninger. Der kan gennemføres supplerende hydrologiske og hydrogeologiske undersøgelser.

GOI typologiens relation til arbejdsopgaverne i basisanalysen

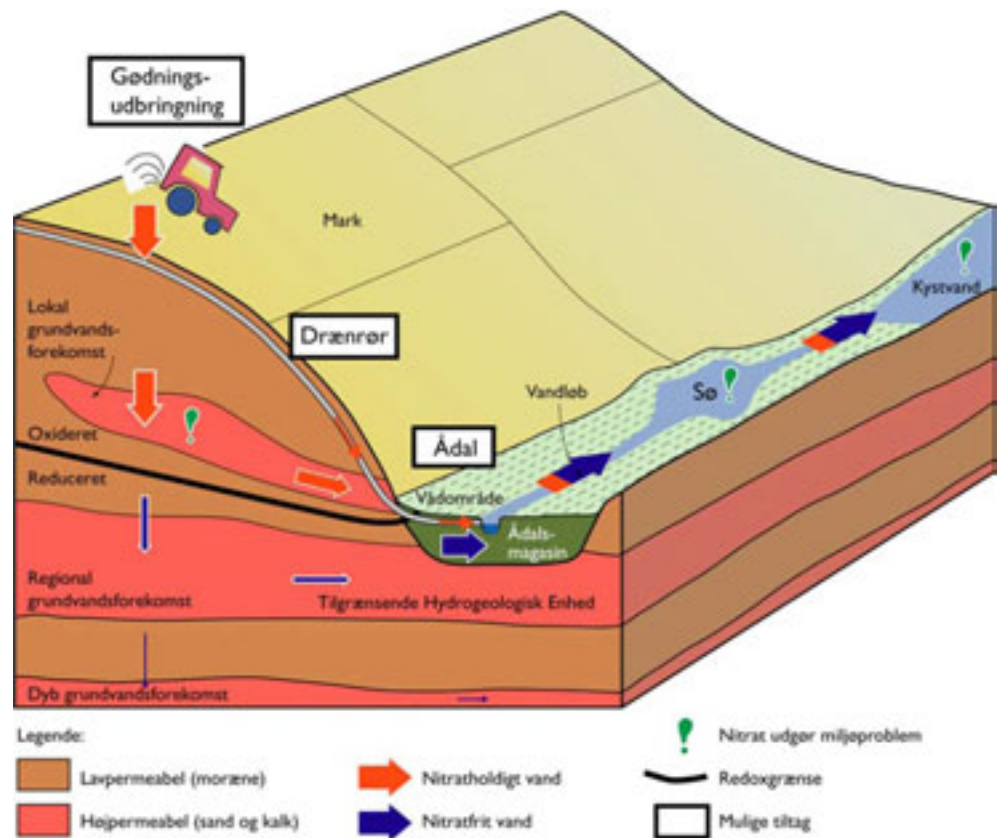
De to faser af karakteriseringen af grundvand / overfladevand interaktion i basisanalysen er begge omfattet af analyser, der foretages i forbindelse med klassifikation af *Ådalstype* i GOI typologien. Arbejdet udføres under karakterisering af den Tilgrænsende Hydrogeologiske Enhed.

Forårsages kvalitetsproblemer i overfladevandet af nitrat, kan *Strømningsvarianter* i GOI typologien herefter anvendes til at analysere, hvilke foranstaltninger, der kan tages i anvendelse i ådalen for de vandløbsstrækninger, der modtager nitratholdigt grundvand.

Sammenhængen mellem arbejdet i den generelle karakterisering og den videregående karakterisering er eksemplificeret i de følgende afsnit ved nitrats skæbne i det hydrologiske kredsløb.

1.2.1 Nitrats skæbne i det hydrologiske kredsløb

Nitrat tilføres landbrugsjorden ved gødningsudbringning. Herfra siver nitrat med det infiltrerende vand gennem rodzonen, hvor en mindre del denitrificeres (figur 1.1).



Figur 1.1 Nitrats skæbne i det hydrologiske kredsløb. Problemområder forårsaget af nitrat er vist med et grønt udråbstegn. Indsatsmuligheder er vist i bokse.

Er jorden i indstrømningsområderne drænet vil en del af det nydannende nitratholdige grundvand opfanges af drænene og strømme direkte mod lavereliggende ådale og overfladevandområder. Den resterende del perkolerer med vandet nedad til et lokalt, overfladenært grundvandsmagasin. En del af det overfladenære grundvand strømmer overfladenært mod ådale gennem jorden. Foregår denne strømning over redoxgrænsen, vil grundvandet være nitratholdigt. Er der over 50 mg nitrat/l i grundvandsmagasinet, kan vandet ikke umiddelbart anvendes til drikkevandsindvinding.

Den del af nitraten, der med grundvandet strømmer videre mod regionale, dybere liggende grundvandsmagasiner, kan på sin vej krydse redoxgrænsen, hvorefter nitraten hurtigt denitrificeres. Den dybe, regionale udstrømning til ådale og overfladevandområder fra disse grundvandsmagasiner kan således være nitratfri, hvis magasinet er reduceret. Den kan dog også være nitratholdig, hvis magasinet, eller dele af det, er oxideret.

En større eller mindre del af nitraten vil under passagen af ådalen i udstrømningsområdet reduceres afhængigt af, hvilken strømningsvej vandet følger gennem ådalen. Denitrifikationen finder sted, når vandet kommer i kontakt med ådalens organiske sedimenter under de reducerende forhold, der oftest er forekommende her. Dette vil blive behandlet mere detaljeret nedenfor.

Hvis ikke al nitrat reduceres i ådalen, vil det nå frem til et overfladevandområde. Er dette et vandløb udgør nitrat her ikke i sig selv et miljøproblem. I selve vandløbet kan nitratreduktion også foregå (Christensen og Nielsen, 1987; Kronvang et al., 2001), men i forhold til den store transport af nitrat gennem vandløbet reduceres kun en lille andel (< 5%). I denne sammenhæng fungerer vandløb derfor som en transportkorridor for nitrat.

Når vandløbsvandet strømmer ud i et fjordområde udgør den resterende nitrat i vandet, sammen med fosfor, et væsentligt miljøproblem i fjordsystemet, idet det muliggør en forøget biologisk produktion, der ved nedbrydning i sidste ende kan forårsage iltsvind, fiskedød og bundvendinger (f.eks. Paaby og Møhlenberg, 1996; Sand-Jensen, 1996; Kronvang et al., 1997; Kronvang et al., 2001).

1.2.2 Problemområder forårsaget af nitrat

Nitratholdet i vandet i det hydrologiske kredsløb udgør således en forureningsrisiko for vandforsyningen til drikkevandsformål i det overfladenære, oxiderede grundvand, og et miljømæssigt problem i enkelte søer, dele af året i fjorde og kystvande. Da emnet for nærværende projekt er udvekslingen mellem grundvand og overfladevand, vil det være problemerne i overfladevandet, der fokuseres på her.

For at mindske problemernes omfang i fjorde og kystvande er det påkrævet at nedbringe nitrattilførslen til alle overfladevandområder, dvs også til vandløbene, der jo fungerer som transportkorridorer for nitrat frem til kystvandene.

1.2.3 Tilstrømning til ådale

Tilstrømningen af vand til ådalen udgøres af tre hovedbidrag: dyb grundvandstilstrømning, overfladenær grundvandstilstrømning og eventuelt drænvandstilstrømning.

Dyb grundvandstilstrømning

Den dybe grundvandstilstrømning fra regionale magasiner har ofte passeret redoxgrænsen på vej mod eller i magasinet (figur 1.1). Den forventes derfor ofte at være nitratfri. Der kan dog være situationer, hvor redoxgrænsen ligger så langt nede, at der kan være nitrat i denne tilstrømning også. Denne tilstrømning forventes dog ofte ikke at volde miljømæssige problemer i overfladevandet på grund af nitrat. Den dybe stabile tilstrømning kan derimod om sommeren være overordentlig vigtig for opretholdelsen af afstrømning i vandløb, og for opretholdelsen af en tilstrækkelig grundvandstilstrømning til de enge og vådområder, der er udstrømningsområder for disse dybe magasiner. Den dybe udstrømning er ofte påvirket af grundvandsindvinding fra disse magasiner (se tabel 1.1).

Overfladenær grundvandstilstrømning

Grundvandstilstrømning fra de overfladenære magasiner (der eksempelvis kan omfatte smeltevandsaflejringer, sandede og grusede moræneaflejringer og opsprækkede lerede moræneaflejringer) kan forløbe over redoxgrænsen (figur 1.1). Vandet kan derfor være nitratholdigt. Under naturlige forhold er det således den overfladenære strømning, der kan bringe nitratholdigt vand til overfladevandet, og dermed skabe mulighed for miljømæssige problemer i overfladevandet på grund af nitrat.

Drænvandstilstrømning

Er oplandet detailafvandet, vil drænene ligeledes bringe nitratholdigt vand til overfladevandet. Dræningen vil samtidig mindske både den naturlige overfladenære afstrømning og den dybere afstrømning.

Vurdering af tilstrømningernes miljømæssige betydning for overfladevandet

Med henblik på at begrænse nitrattilførslen til overfladevandet, er det således væsentligt både at vurdere hvor stor *overfladenær tilstrømning*, og hvor stor

drænvandstilstrømning der er til ådalene indenfor et opland. Hvor denne nitratholdige tilstrømning er stor, kan ådalenes evne til at omsætte nitraten herefter vurderes. GOI typologien forventes at kunne anvendes til at udpege, hvilke grundvandsforekomster, der bringer nitratholdigt grundvand til overfladevandet, samt udpege hvilke ådalsstrækninger, der forventes at have aktiv, potentiel eller ingen nitratreducerende indvirkning på grundvandstilstrømningen til overfladevandet.

1.3 Typologi for Grundvand / Overfladevand Interaktion

GOI typologien omhandler de *grundvandsbetingede* vådområder i Danmark, primært de *ripariske*, der ligger i ådalene langs vandløb.

I rapporten er der opstillet en GOI typologi, dvs. et sæt begrebsmæssige modeller, for hvordan interaktionen kan foregå. GOI typologien er forenklet i forhold til den tidligere version beskrevet i Nilsson et al (2003). Typologien er funktionelt opbygget, idet den tager udgangspunkt i ådalens placering i og afhængighed af det hydrologiske kredsløb. Dermed kan typologien eksempelvis anvendes til at:

- Identificere grundvandsforekomster, der har tilknyttede afhængige overfladevandssystemer og vådområder.
- Estimere retning og omfang af udvekslingen mellem grundvand og overfladevand.
- Gruppere og klassificere vådområder i ådale på grundlag af interaktionen mellem grundvand og overfladevand.
- Estimere nitrattilførsel i grundvandstilstrømningen til ådalen og vandløbet.
- Udpege ådale med aktiv, potentiel eller ingen indvirkning på nitratreduktionen.
- Udpege sårbare vådområder i ådale.

GOI typologien er opstillet ud fra en grundlæggende tanke om at udnytte den eksisterende danske viden om geologiske, hydrogeologiske og geomorfologiske forhold. Kun den del af undergrunden, hvori det ferske vand strømmer i løse sedimenter, inddrages i de følgende betragtninger. Typologien kan altså ikke bruges i sprækkedalene på Bornholm.

1.4 Projektafgrænsning

I denne rapport er GOI typologien videreudviklet til også at omfatte en metode, hvormed ådales nitratreduktion kan vurderes. Denne metode er omfattet af niveauet Strømningsvarianter. Ved anvendelse af GOI typologien kan ådale således klassificeres som:

- Aktivt nitratbegrænsende
- Potentielt nitratbegrænsende
- Ikke nitratbegrænsende.

1.5 Fremgangsmåde ved udarbejdelse af nærværende rapport

Projektet har haft følgende indhold:

- Færdiggørelse af GOI typologien baseret på geologiske, hydrogeologiske og ådalsmorfolologiske karakteristika.
- Klassifikation af velkendte ådalslokaliteter ifølge GOI typologien i seks vandløbsoplande: Stevns Å, Gjern Å, Rabis Bæk, Karup Å, Haller Å, og Storå.

Feltrekognoscering er foretaget langs Gjern Å og Storå til kontrol af klassifikation af Ådalstype og Strømningsvariant.

- Sammenstilling af parameterværdier for Ådalstyper og Strømningsvarianter repræsenteret ved datasæt fra velundersøgte ådalslokaliteter i ovennævnte vandløbsoplande.
- Validering af GOI typologien på repræsentative vandløbsoplande, der dækker et sandet (Storå) og et leret (Odense Å) vandløbsopland. Valideringen består af en dataindsamling og klassifikation af delstrækninger (udspring, øvre, midterste og nedre løb) i oplandene. Valideringen er i videst muligt omfang udarbejdet interaktivt med medarbejdere fra de involverede amter.
- Udarbejdelse af generel kravspecifikation til GIS værktøjer, der foreslås udviklet i en senere fase, så GOI typologien kan gøres operationel for de ansvarlige myndigheder i vandområdedistrikterne.

En kvalitetssikringsgruppe, bestående af deltagere fra flere amter (Ringkjøbing Amt, Fyns Amt og Københavns Amt), Danmarks JordbrugsForskning, Geologisk Institut, Københavns Universitet, og Skov- og Naturstyrelsen, har været inddraget undervejs på en kombineret feltekskursion og workshop fordelt over to dage, hvor projektgruppen fremlagde videnstatus til diskussion og kritik.

1.6 Rapportens indhold – læsevejledning

- Kapitel 1 omhandler projektets ophæng i omverdenen.
- Kapitel 2 beskriver GOI typologiens hierakiske opbygning.
- Kapitel 3 karakteriserer Landskabstyper og Ådalstyper nærmere.
- Kapitel 4 karakteriserer Strømningsvarianter nærmere ud fra fordeling af strømningssveje under naturlige forhold samt under påvirkning af afvanding.
- Kapitel 5 beskriver metoder til klassifikation af Landskabstype, Ådalstype og Strømningsvariant.
- Kapitel 6 gennemgår klassifikation og parametre på velkendte ådalslokaliteter.
- Kapitel 7 omfatter en klassifikation af velundersøgte ådalslokaliteter i Gjern Å oplandet.
- Kapitel 8 demonstrerer afprøvning af GOI typologien på et sandet opland (Storå) i samarbejde med Ringkjøbing Amt.
- Kapitel 9 demonstrerer afprøvning af GOI typologien på et leret opland (Odense Å) i samarbejde med Fyns Amt.
- Kapitel 10 omhandler kravspecifikationer til operationelle GIS værktøjer.
- Kapitel 11 opsummerer emner diskuteret på workshoppen.
- Kapitel 12 perspektiverer anvendelsen af GOI typologien samt opsummerer data- og videnshuller.

1.7 Sammenfatning

I kapitel 1 er projektets baggrund i Vandrammedirektivet samt dets formål og organisation gennemgået. Projektets sammenhæng med den generelle og videregående karakterisering af grundvandsforekomster i basisanalysen er beskrevet. GOI typologien foreslås anvendt både under den generelle og den videregående karakterisering af truede grundvandsforekomster, hvor truslen forårsages af, at grundvandsforekomster påvirker tilknyttede overfladevand-systemer uacceptabelt, således at deres miljømål ikke kan opnås. Denne påvirkning kan enten skyldes kvantitative (indvindingsmæssige) eller kemiske forhold. Det er den overfladenære grundvandstilstrømning samt drænvandstilstrømningen, der bringer nitratholdigt grundvand til overfladevandet, der skaber miljøproblemer i

overfladevandet. For at vurdere mulige foranstaltninger, der kan iværksættes for at mindske tilførslen, hvor denne er stor, foreslås ådalenes evne til at omsætte nitrat vurderet under anvendelse af GOI typologien.

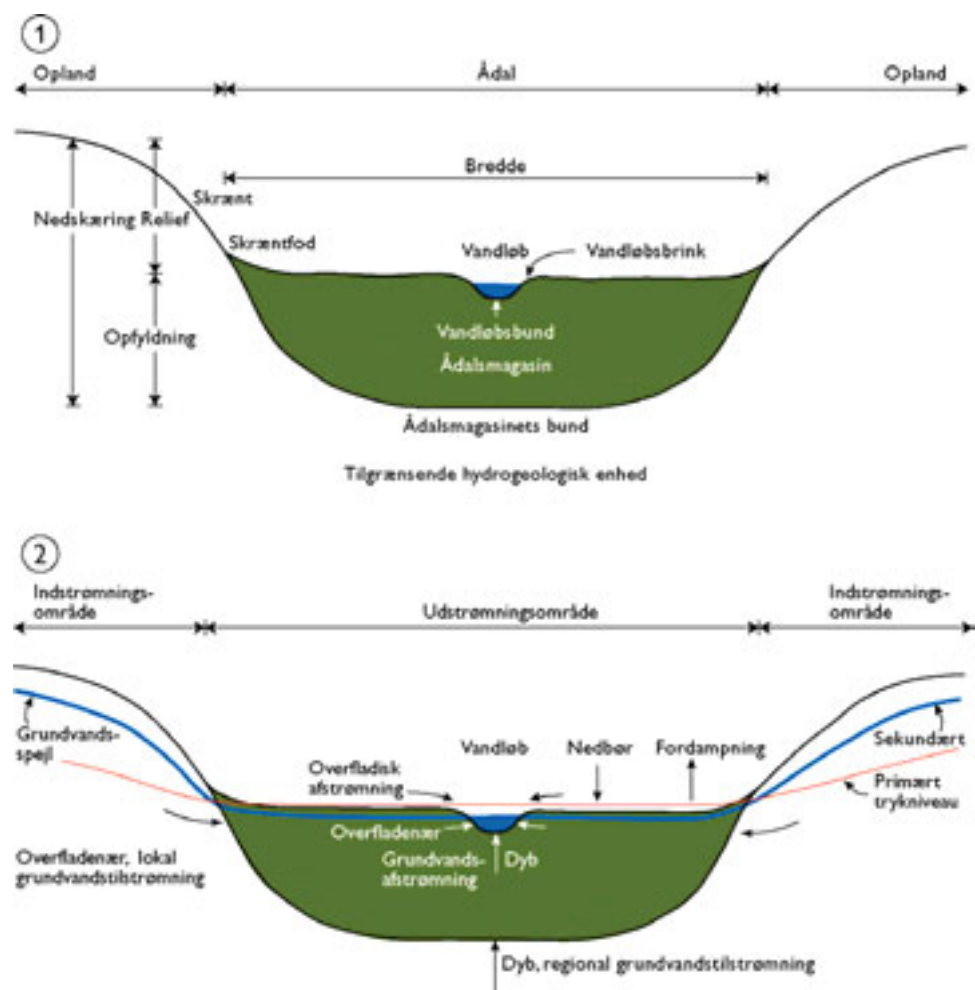
2 Typologi for interaktion mellem grundvand og overfladevand

2.1 Indledning

Typologi for Grundvand / Overfladevand Interaktion (GOI typologi) omhandler de grundvandsbetingede vådområder i Danmark, primært de ripariske, der ligger i ådalene langs vandløb.

2.2 Konceptuel ramme og terminologi i typologien

For at få indblik i styrende processer for grundvand / overfladevand interaktion er det vigtigt at tage udgangspunkt i en forståelse af strømningsforholdene omkring og i ådalen.



Figur 2.1. Anvendt terminologi i GOI typologi for geomorfologi (1) og hydrologi (2).

På figur 2.1 er en konceptuel skitse af en typisk dansk ådal med et riparisk vådområde illustreret med angivelse af anvendt terminologi for henholdsvis geomorfologiske og hydrologiske forhold. Figuren viser de væsentligste hydrologiske strømningsveje, der er styrende for udvekslingen mellem grundvand og overfladevand under naturlige forhold. Interaktionen mellem grundvand og overfladevand betragtes i typologien som udvekslingen mellem tre enheder: den Tilgrænsende Hydrogeologiske Enhed, Ådalsmagasinet og vandløbet.

Danske ådale er oftest udstrømningsområder for grundvand. Det vil sige, at vandet strømmer fra den Tilgrænsende Hydrogeologiske Enhed gennem Ådalsmagasinet til vandløbet. Der kan dog også forekomme strækninger, som i løbet af året eller hele året er indstrømningsområder for grundvand. Vandet strømmer da fra vandløbet gennem Ådalsmagasinet til den Tilgrænsende Hydrogeologiske Enhed.

Tilgrænsende hydrogeologisk enhed

Under og omkring Ådalsmagasinet ligger de Tilgrænsende Hydrogeologiske Enheder, der føder ådalen med grundvand. Hvorvidt tilstrømningen af grundvand er af lokal, overfladenær oprindelse eller af regional, dybere oprindelse, eller består af begge afgøres af geomorfologiske og hydrogeologiske forhold i oplandet omkring ådalen (Dahl, 1995; Vidon og Hill, 2004).

Mængden og stabiliteten af tilstrømningen afgøres af den Tilgrænsende Hydrogeologiske Enhed hydrauliske ledningsevne, størrelse og placering i det hydrologiske kredsløb. Er den hydrauliske ledningsevne høj, udgør enheden et *grundvandsmagasin*.

Kvaliteten af det tilstrømmende vand afgøres af de sedimenttyper og biogeokemiske miljøer (redoxmiljøer) vandet har passeret på sin vej, samt menneskelige påvirkninger (primært i form af arealanvendelse og afvanding).

Ådalsmagasin

Ådalsmagasinet består samlet af de vekslende lag af diluviale, alluviale, limniske (gytje-) og tørveaflejringer, der delvist har opfyldt dalen efter de daldannende processer har udformet selve dalnedskæringen i det ældre geologiske underlag.

Ådalsmagasinet afgrænses geografisk fra skræntfod til skræntfod af den dalform, der svarer til det nutidige vandløb. Ofte kan udbredelsen af postglaciale ferskvandsaflejringer anvendes som støtte til afgrænsning af Ådalsmagasinet, men der kan også forekomme andre sedimenttyper i overfladen. Der kan også forekomme situationer, hvor der ikke er udviklet et Ådalsmagasin.

Afgrænsningen af Ådalsmagasinet i dybden er i nogle situationer tydelig (hvor grænsen udgøres af overgangen til moræneler eller kalk), mens den i andre situationer kan være svær at identificere, idet Ådalsmagasinet sedimenttype kan være identisk med den Tilgrænsende Hydrogeologiske Enheds sedimenttype (sand).

Vandløb

Den sidste enhed udgøres af vandløbet. Hvorledes tilstrømningen fra Ådalsmagasinet til vandløbet forløber styres af naturlige hydrogeologiske forhold i ådalen samt menneskelige indgreb.

Vådområder i ådales relation til Vandrammedirektivet

Oftest opfattes vådområder i ådale fejlagtigt som kun afhængige eller betingede af overfladevand, men i Danmark er de fleste enge og vådområder i ådale primært afhængige af grundvandstilstrømning. I forbindelse med den fremtidige forvaltning af de samlede vandressourcer skal de derfor, i overensstemmelse med Vandrammedirektivet, knyttes til og administreres sammen med den grundvandsforekomst, der betinger deres tilstedeværelse og funktion (Miljøstyrelsen, 2004).

2.3 GOI typologiens hierarkiske opbygning

Typologien er opbygget hierarkisk på grundlag af geologiske, geomorfologiske og hydrogeologiske forhold, således at den rumlige skala mindskes fra et typologisk niveau til det næste. Herved følges vandets vej fra den Tilgrænsende Hydrogeologiske Enhed, gennem Ådalsmagasinet til vandløbet. Det er tilstræbt, at typologien skal guide brugeren frem til det rigtige valg af klassifikationsenhed på hvert niveau. I tabel 2.1 er niveauer og inddelingskriterier i GOI typologien angivet.

Tabel 2.1 GOI typologiens niveauer og inddelingskriterier.

GOI typologi niveau	Inddelingskriterier
Landskabstype	Regional geomorfologi og geologi
Ådalstype	Tilgrænsende Hydrogeologiske Enheds hydrauliske ledningsevne, tykkelse og udbredelse
	Ådalsmorfologi (nedskæring, bredde og relief)
Strømningsvariant	Naturlige og menneskeskabte strømningsveje gennem Ådalsmagasinet.

2.3.1 Landskabstype

Det første niveau i typologien er Landskabstype, der *karakteriserer den geomorfologiske og geologiske opbygning i oplandet.*

Landskabstypen anvendes til en hurtig vurdering af, om vandløbet løber i et opland, hvor:

- Grundvandstilstrømning af varierende kvalitet udgør en betydelig del af vandføringen.
- Drænvandstilstrømning og overfladisk tilstrømning af dårlig kvalitet er det betydelige bidrag til vandføringen i vinterhalvåret, mens sommervandføringen er betydeligt mindre, da vandet dannes af dybere grundvand af forventeligt bedre kvalitet.

De landskabsdannende processers karakter har varieret indenfor de overordnede geologiske aflejringsmiljøer. Det har medført dannelsen af regionale landskaber med en karakteristisk geomorfologi og geologisk lagfølge, og dermed en karakteristisk topografi og rumlig fordeling af vandførende og vandstandsende lag. Dette er af afgørende betydning for grundvandstilstrømningen til ådale og vandløb.

Der skelnes i typologien mellem:

- Morænelandskab (I)
- Smeltevandsslette (II)
- Havaflejring (III)
- Fladedækkende ferskvandsaflejring (IV)
- Klitlandskab (V).

Landskabstyperne er nærmere karakteriseret i kapitel 3.

2.3.2 Ådalstype

Det andet niveau, Ådalstype, *karakteriserer kontakten mellem ådalens Tilgrænsende Hydrogeologiske Enhed og Ådalsmagasinet*. I Ådalstypen karakteriseres således *grundvandstilstrømningen til ådalen* (dvs til bunden af Ådalsmagasinet).

Ådalstypen kan anvendes til at opnå en dybere forståelse af:

- Hvilke hydrogeologiske enheder (lag), der bidrager til vandføringen i vandløbet (lokale eller regionale grundvandsmagasiner).
- Hvor stor og stabil tilstrømningen til ådalen er fra de forskellige enheder.
- Hvilken nitrattilstrømning der kommer fra de forskellige enheder, hvilket har indflydelse på den kemiske og økologiske tilstand i overfladevandet.
- Hvor stor betydning indvinding fra de forskellige enheder vil have for tilstrømningen til overfladevandet, hvilket primært har indflydelse på den økologiske tilstand i overfladevandet.
- Hvilke grundvandsforekomster, der vurderes truede, fordi de påvirker overfladevandet med for eksempel en for lille grundvandstilførsel, eller en for dårlig vandkvalitet.

Størrelsesordenen af grundvandstilstrømningen til Ådalsmagasinet bestemmes hovedsageligt af den Tilgrænsende Hydrogeologiske Enheds evne til at lede vand. Den *hydrauliske ledningsevne* anvendes derfor til at skelne mellem lav- og højpermeable Tilgrænsende Hydrogeologiske Enheder. Er ledningsevnen høj består den Tilgrænsende Hydrogeologiske Enhed af et grundvandsmagasin.

Dette magasins *tykkelse og udbredelse* er afgørende for stabiliteten af tilstrømningen (Dahl, 1995; Vidon og Hill, 2004). Der skelnes mellem lokale magasiner, der har en varierende udstrømning gennem året og oftest tørrer ud i den tørre sommerperiode, og regionale magasiner, der har en stabil udstrømning gennem året.

Endelig anvendes kriterier for *ådalens geomorfologi* (nedskæring, bredde og relief). Nedskæringen og opfyldningen (se figur 2.1) har betydning for størrelsen af *relieffet*, der atter har indflydelse på størrelsen af den drivende potentialegradient under ådalen. Jo større relieffet er, desto større vil udstrømningen være alt andet lige (Vidon og Hill, 2004). Ådalsmagasinet mægtighed, der udgøres af opfyldningen i ådalen kan have sammenhæng med typen af sedimenter i selve Ådalsmagasinet, og for vandets opholdstid i ådalen. Bredden har betydning for vandets strømningsveje og opholdstid i ådalen. Strømningsvejene er afgørende for forløbet af forskellige biogeokemiske processer, der kan finde sted i ådalen.

Grundvandsmagasinet *placering* (overfladenært eller dybere), der har sammenhæng 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 dybere, reducerede magasiner, hvorfra tilstrømningen er nitratfri.

På baggrund af en samlet konceptualisering af ovenstående klassificeres ådalen som en nærmere karakteriseret Ådalstype typisk for den aktuelle Landskabstype. Der er således identificeret:

- Fem Ådalstyper karakteristiske for morænelandskab (1-5)
- Fire Ådalstyper karakteristiske for smeltevandsslette (6-9)
- Seks Ådalstyper karakteristiske for havaflejring (10-15).

Ådalstyper karakteristiske for fladedækkende ferskvandsaflejring og klitlandskaber er omfattet af Ådalstyper for smeltevandsslette og morænelandskab.

Ådalstyperne er nærmere karakteriseret i kapitel 3.

2.3.3 Strømningsvariant

Det tredje niveau, Strømningsvariant, *karakteriserer strømningen gennem ådalen til vandløbet.*

Strømningsvarianten kan benyttes til at vurdere:

- Hvilke naturlige strømningsveje grundvandet følger gennem ådalen til vandløbet.
- Hvilke menneskelige indgreb, der eventuelt påvirker vandets strømning gennem ådalen (detail- og hovedafvanding).
- Hvilke sedimenter vandet kommer i kontakt med under passagen af ådalen.
- Hvilke specifikke stoffer, der kan fjernes fra eller tilføres grundvandet under passagen af ådalen.
- Hvilke specifikke tiltag der, for truede grundvandsforekomster, kan tages i anvendelse i ådalen for at mindske stoftilførslen fra grundvandet til overfladevandet.

Strømningsveje gennem ådalen afgør vandets kontakt med biogeokemisk aktive miljøer i Ådalsmagasinet, der atter styrer hvilke processer (redox-, og sorptionsprocesser), der kan foregå i ådalen. På grundlag af typiske forskelle i nitratreduktion skelnes mellem fire strømningsveje.

Naturlige strømningsveje

Hvorledes strømningen gennem Ådalsmagasinet til vandløbet forløber, styres af mange forhold (Dahl, 1990; Brüsich og Nilsson, 1993), Dahl 1995; Vidon og Hill, 2004). Naturlige forhold af betydning er: grundvandets trykniveau i relation til det frie grundvandspejl i ådalen og vandstanden i vandløbet, jordoverfladens beliggenhed, fordelingen af høj- og lavpermeable lag i, samt dybden af Ådalsmagasinet, permeabilitet af vandløbsbunden, og endelig mængden af gennemstrømmende vand. Der skelnes mellem følgende naturlige strømningsveje gennem ådalen:

- Diffus strømning gennem Ådalsmagasinet (Q_1)

- Overfladisk strømning hen over Ådalsmagasinet (Q_2)
- Direkte strømning fra Tilgrænsende Hydrogeologisk Enhed til vandløb (Q_3).

Menneskeskabte strømningsveje

Menneskelige indgreb i ådalen (og i oplandet) kan imidlertid ændre drastisk på vandets strømning gennem ådalen. I typologien er detailafvanding i oplandet (drænrør) i sammenhæng med detailafvanding i ådalen (drænrør eller grøfter), samt hovedafvanding af vandløbet (udretning og uddybning) omfattet.

Hovedafvandingen kan eventuelt skabe en direkte kontakt mellem den Tilgrænsende Hydrogeologiske Enhed og vandløbet, der ikke tidligere var tilstede (Q_3). Detailafvandingen tilføjer en meget betydningsfuld strømningsvej:

- Strømning gennem dræn og grøfter i ådal (Q_4).

Strømningsvariant

Afhængigt af hvilken *strømningsvej, der er dominerende* for den enkelte ådalsstrækning, skelnes i typologien mellem fire Strømningsvarianter:

- Diffus Strømningsvariant
- Overfladisk Strømningsvariant
- Direkte Strømningsvariant
- Detailafvandet Strømningsvariant

Strømningsveje og Strømningsvarianter er nærmere karakteriseret i kapitel 4.

2.4 Sammenfatning

I kapitel 2 er opbygningen af GOI typologien beskrevet. Typologien omhandler de grundvandsbetingede vådområder i Danmark, primært de ripariske, der ligger i ådalene langs vandløb. Indledningsvist er anvendte begreber og terminologi gennemgået. Herefter præsenteres den hierarkiske opbygning i typologien overordnet.

Det første niveau, Landskabstype, karakteriserer den regionale geomorfologiske og geologiske opbygning i oplandet. Dette niveau anvendes til en overordnet vurdering af den hydrogeologiske situation og de deraf følgende tilstrømningsforhold for grundvand til ådalen.

Det andet niveau, Ådalstype, karakteriserer udvekslingen mellem ådalens Tilgrænsende Hydrogeologiske Enhed og Ådalsmagasinet (det vil sige til bunden af Ådalsmagasinet). Derved opnås en dybere forståelse af retning og omfang af udvekslingen mellem grundvandsforekomster og overfladevand, samt et skøn over nitrattilstrømningen til Ådalsmagasinet

Det tredje niveau, Strømningsvariant, karakteriserer strømningen gennem ådalen til vandløbet. Den analyse, der foretages på dette niveau, kan benyttes til at vurdere, hvilke specifikke stoffer (her nitrat), der kan fjernes fra eller tilføres grundvandet under dets passage af ådalen, inden det når vandløbet, samt hvilke specifikke tiltag der, for truede grundvandsforekomster, kan tages i anvendelse i ådalen for at mindske stoftilførslen fra grundvandet til overfladevandet.

3 Landskabstyper og Ådalstyper

I dette kapitel karakteriseres Landskabstyper og Ådalstyper mere detaljeret.

3.1 Landskabstyper

Landskabstyperne karakteriserer den geologiske opbygning i oplandet. Eksempler på stilistiske tværsnit gennem henholdsvis morænelandskab, smeltevandsslette, og havaflejringer ses i figur 3.1.

3.1.1 Morænelandskab (I)

I morænelandskabet, der findes i de østlige egne af Danmark, findes vekslende lag af moræne- og smeltevandsaflejringer af enten lokal eller regional udbredelse. Moræneaflejringerne kan både være lerede og sandede, smeltevandsaflejringerne er oftest sandede. Morænelandskaber har de største topografiske højdeforskelle i Danmark.

3.1.2 Smeltevandsslette (II)

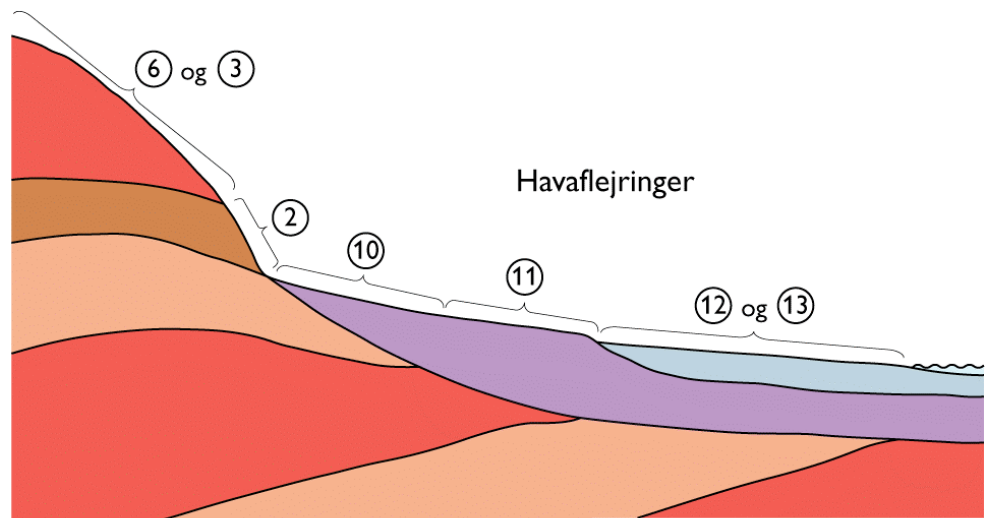
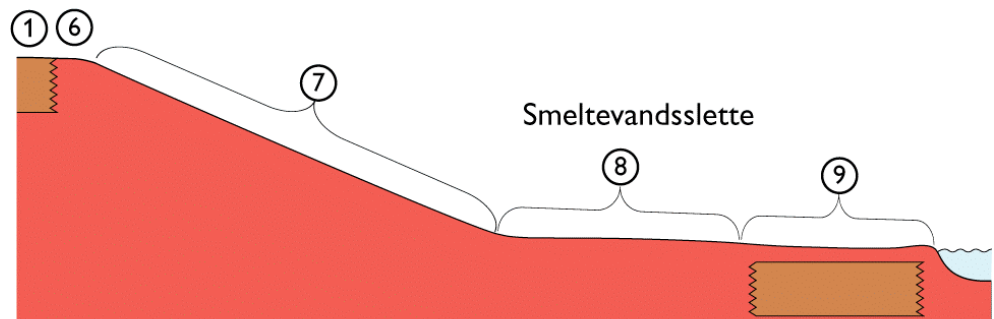
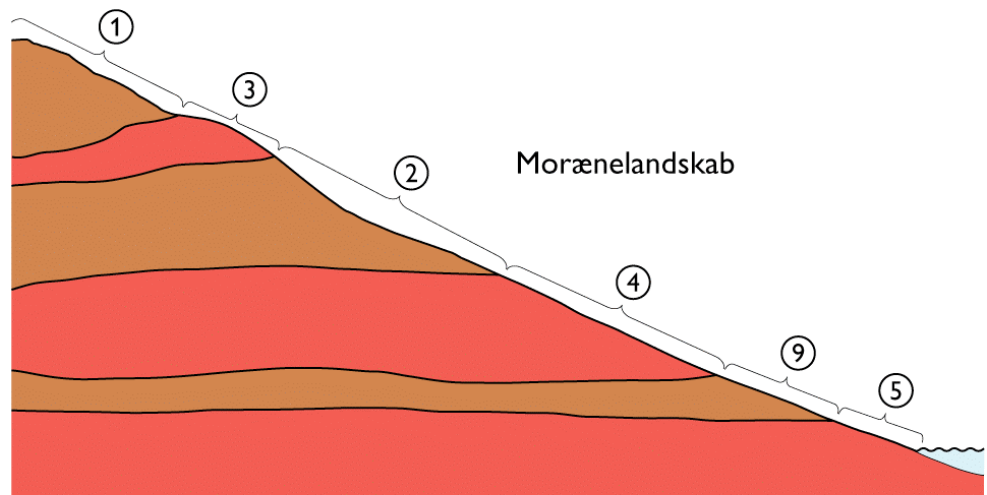
På smeltevandssletten, i det sydvestlige Danmark, findes tykke, sandede, relativt homogene smeltevandsaflejringer, som stedvist kan være underlejret af moræne, typisk hvor en smeltevandsslette støder op til en israndslinie eller en bakkeø. Smeltevandssletten har en lille hældning.




3.1.3 Havaflejring (III)

Havaflejringer opdeles i tre typer på grundlag af deres forskellige hydrogeologiske egenskaber: Yoldiahavets aflejringer, Stenalderhavets aflejringer og marskaflejringer.

Yoldiahavets aflejringer findes i Nordjylland, hvor de udfylder lavninger i det omkring- og underliggende glacielle landskab, der ofte består af smeltevandssand og -ler. Den langt dominerende sedimenttype er finsand, men i lavereliggende områder, der har været mere beskyttede er aflejringerne lerede. I ådalene er der tørv. Aflejringerne har en mægtighed (dybde) på 10-50 m og terrænoverfladen ligger mellem kote 10 og 35 m DNN. Aflejringerne udgør sammenhængende flader med en svag hældning mod kysten.

Stenalderhavets aflejringer findes ligeledes hovedsageligt i Nordjylland, men også i kystnære fjordområder og kystnære dele af ådale længere sydpå og på de østdanske øer. Stenalderhavets aflejringer overlejrer typisk Yoldiahavets aflejringer i Nordjylland, hvor de omkranser Yoldiahavets aflejringer i et niveau længere nede. Her udgør de store sammenhængende flader med en meget lille hældning mod kysten. Længere mod syd, i fjordene og ådalene, overlejrer de ofte smeltevandsaflejringer. Den dominerende sedimenttype er sand, der er grovere end Yoldiahavets finsand. I lavereliggende områder, typisk i beskyttede vige og fjorde på daværende tidspunkt, findes mere finkornede gytje- og leraflejringer. I ådalene er der typisk sand. Aflejringerens mægtighed i Nordjylland er 10-30 m. Terrænoverfladen findes i kote 1-13 m DNN.



- | | | | |
|---|-----------------|---|--------------------------|
|  | Moræneler |  | Yoldia havaflejringer |
|  | Smeltevandssand |  | Stenalder havaflejringer |
|  | Smeltevandsler |  | Ådalstype |

Figur 3.1. Stilistiske tværsnit gennem Landskabstyper: morænelandskab (øverst), smeltevandsslette (i midten) og havaflejringer i Nordjylland (nederst). Talværdierne svarer til Ådalstyper i figur 3.2, 3.3 og 3.4.

Marskaflejringer findes i kystnære egne langs Vadehavet i det sydvestlige Jylland, hvor de overlejrer smeltevandsaflejringer. Marskaflejringer (klæg) er meget finkornede, da de består af ler, silt, finsand og fint organisk materiale. De har en mægtighed på kun få meter og findes i kote 0-3 m DNN. De har også en meget lille hældning mod kysten.

3.1.4 Fladedækkende ferskvandsaflejring (IV)

Fladedækkende ferskvandsaflejringer (forventeligt mere end 2 km brede) findes i alle landsdele, ofte på større sammenhængende flader (havaflejringer), eller i større lavninger med en lille hældning i morænelandskaber eller på smeltevandssletter.

De førstnævnte består af nedbørsbetingede *højmoser*, der er indstrømningsområder for grundvand. De er derfor ikke aktuelle i denne sammenhæng.

De sidstnævnte består af grundvandsbetingede *lavmoser*, der er udstrømningsområder for grundvand. Lavmosernes aflejringer består oftest af tørv, underlejret af limnisk materiale (gytje), fersk- og smeltevandssand.

3.1.5 Klitlandskab (V)

Klitlandskaber består af finsandede flyvesandsaflejringer. De findes fortrinsvist langs Jyllands vestkyst. De findes dog også langs kyster i andre dele af landet, samt på bakkeøerne i Vestjylland.

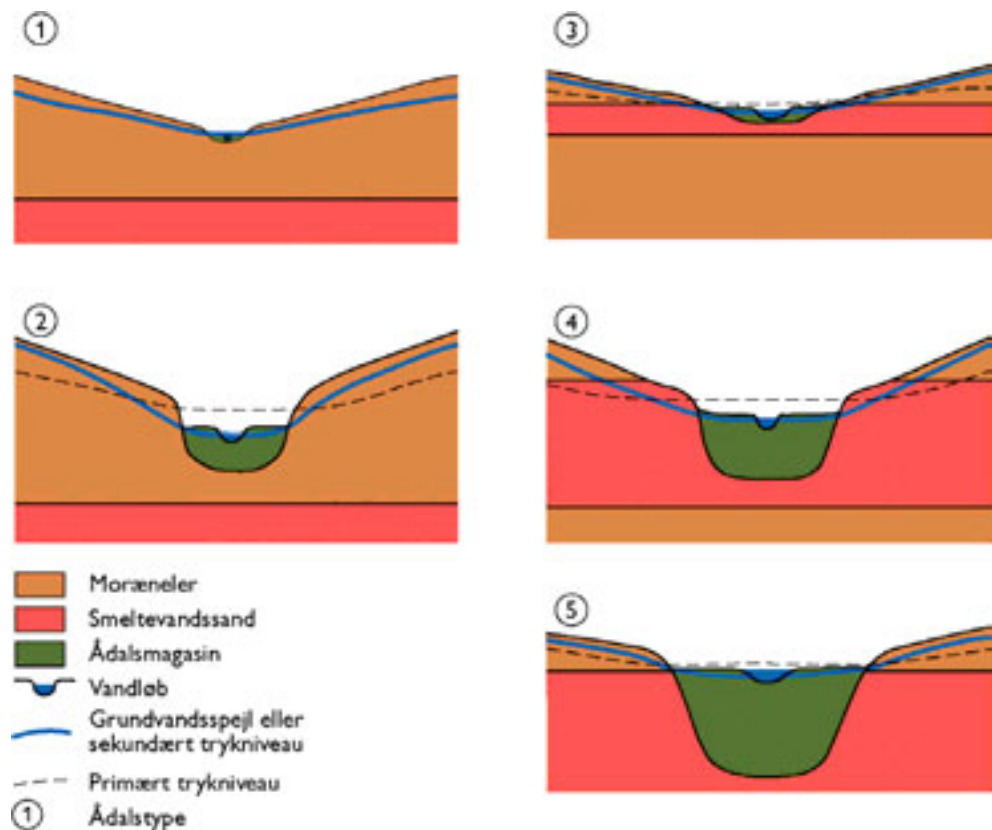
3.2 Ådalstyper

Ådalstyperne karakteriserer kontakten mellem ådalens Tilgrænsende Hydrogeologiske Enhed og Ådalsmagasinet, samt ådalens geomorfologi. I Ådalstypen karakteriseres således grundvandstilstrømningen til ådalen (det vil sige til bunden af Ådalsmagasinet).

Der er i GOI typologien identificeret 15 Ådalstyper fordelt med fem Ådalstyper i morænelandskaber, fire Ådalstyper på smeltevandslette og seks Ådalstyper på havaflejringer. Ådalstyper på fladedækkende ferskvandsaflejringer og klitlandskaber er dækket af Ådalstyper for smeltevandsslette og morænelandskab.

3.2.1 Ådalstyper i morænelandskab (1-5)

Da morænelandskaber er opbygget af skiftende lag af moræne og smeltevandsaflejringer opdeles i første omgang efter den Tilgrænsende Hydrogeologiske Enheds *permeabilitet*, idet der skelnes mellem lavpermeable moræneaflejringer, og højpermeable smeltevandsaflejringer eller kalkaflejringer. De lavpermeable enheder inddeles herefter på grundlag af den Tilgrænsende Hydrogeologiske enheds *tykkelse*, idet Ådalstype 1 ikke (dårligt) tillader grundvandstilstrømning af betydning (tyk), mens Ådalstype 2 gør (mindre tyk). De højpermeable Tilgrænsende Hydrogeologiske Enheder (grundvandsmagasiner) inddeles efter deres *størrelse*, der i mange tilfælde afspejler ådalens placering i oplandet, idet magasinerne ofte bliver større ned langs vandløbet. I Ådalstype 3 er magasinet lokalt, mens det for Ådalstype 4 og 5 er regionalt. Forskellen mellem de to sidstnævnte udgøres af ådalens *relief* til det omgivende opland, idet Ådalstype 4 har et stort relief, mens Ådalstype 5 har et mindre. Ådalstyperne er illustreret i figur 3.2. Deres typiske placering i landskabet fremgår af figur 3.1.



Figur 3.2. Ådalstype 1-5, der oftest træffes i morænelandskab.

Udspringsområde

I vandløbets udspringsområdet er der ofte ikke udviklet en egentlig ådal med et Ådalsmagasin. Er der udviklet et Ådalsmagasin er indholdet af organisk materiale heri sædvanligvis meget lille. Vandløbet er lille, og det afdræner ofte et lokalt, overfladenært grundvandsmagasin. Grundvandstilstrømningen varierer i løbet af året og vandløbet kan, også under naturlige forhold, tørre ud om sommeren. Det tilstrømmende grundvand kan være nitratholdigt.

Er den Tilgrænsende Hydrogeologiske Enhed lavpermeabel og af forholdsvis stor tykkelse (mere end ca 10 m), klassificeres ådalen som *Ådalstype 1*. Tilstrømningen af grundvand til Ådalstype 1 ophører om sommeren.

Har vandløbet derimod kontakt med et lokalt grundvandsmagasin, klassificeres det som *Ådalstype 6*, der er karakteriseret under smeltevandsslette.

Øvre strækning

Langs den øvre strækning af vandløbet, er der udviklet en egentlig ådal, der oftest har en lille bredde og et vist relief til det omgivende opland. I Ådalsmagasinet er der ofte et vist organisk indhold.

Har Ådalsmagasinet kontakt med en lavpermeabel Hydrogeologisk Enhed af mindre tykkelse (mindre end ca 10 m), der overlejrer et grundvandsmagasin, klassificeres ådalen som *Ådalstype 2*. Grundvandstilstrømningen til denne Ådalstype stammer fra det underliggende grundvandsmagasin. Tilstrømningen er mere stabil, men den kan også klinge af i løbet af sommeren. Vandløbet tørrer dog

under naturlige forhold ikke ud. Denne Ådalstype forventes at modtage reduceret, nitratfrit grundvand.

Har Ådalsmagasinet kontakt med et lokalt grundmagasin klassificeres det som *Ådalstype 3*. Da magasinet ikke er så stort er tilstrømningen ustabil i løbet af året. Denne Ådalstype forventes at kunne modtage både nitratholdigt og nitratfrit grundvand.

Midterste strækning

Langs den midterste strækning har vandløbet og ådalen oftest opnået store dimensioner. Ådalen er bred og har et stort relief til oplandet. Nedskæringen er dyb og Ådalsmagasinet forventes at have stor tykkelse, ofte flere meter. Der er sædvanligvis betragtelige tørveaflejringer i Ådalsmagasinet.

Har Ådalsmagasinet kontakt med et regionalt grundvandsmagasin klassificeres ådalen som *Ådalstype 4*, der har en stor og stabil grundvandstilstrømning. Tilstrømning kan både bestå af og oxideret, nitratholdigt vand og reduceret, nitratfrit vand.

Har ådalen derimod kontakt med en lavpermeabel Hydrogeologisk Enhed klassificeres ådalen som *Ådalstype 1 eller 2*.

Nedre strækning

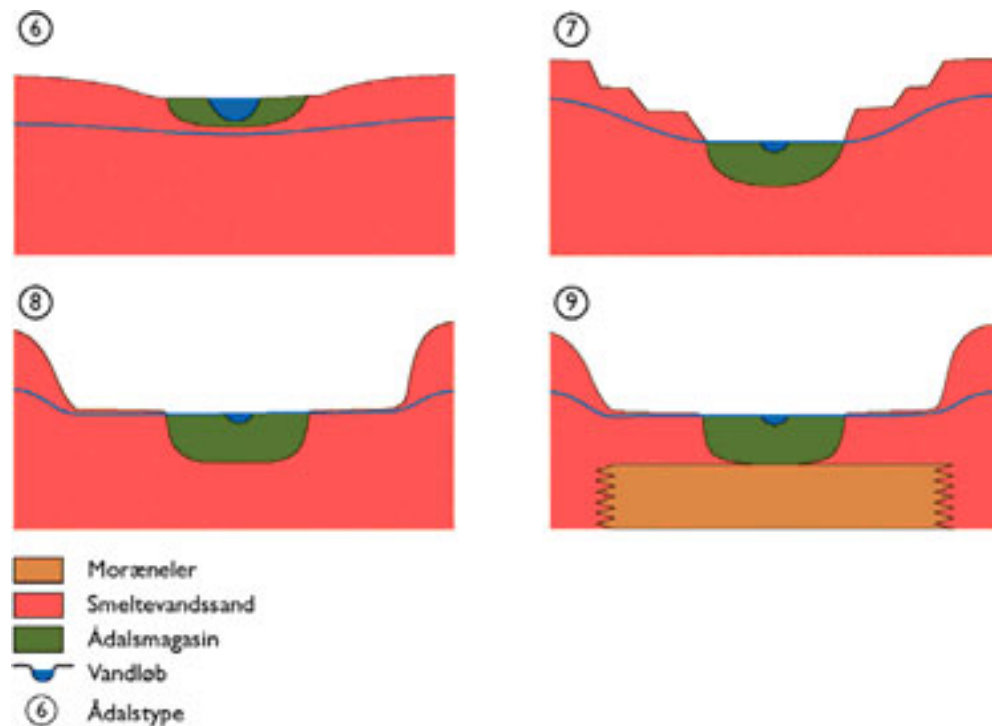
På den nedre strækning har vandløbet og ådalen opnået betragtelige dimensioner. Vandløbet er meget bredt, men har på disse strækninger en lille hældning. Der er derfor sandsynlighed for hyppige oversvømmelser i vinterhalvåret. Ådalen er også meget bred, og nedskæringen er ofte betragtelig. Der er dog ofte sket en stor opfyldning af ådalen, således at Ådalsmagasinet ligeledes her har stor mægtighed (flere meter). Relieffet til det omgivende opland er dog ikke så stort længere. Der er også her sædvanligvis tykke tørveaflejringer, der kan være underlejret af limnisk aflejringer (gytje) og fersk- og smeltevandssand i Ådalsmagasinet. Det tilstrømmende grundvand er sandsynligvis reduceret og nitratfrit, men det kan også være oxideret og nitratholdigt. Det oversvømmende overfladevand fra vandløbet er oftest nitratholdigt.

Har Ådalsmagasinet kontakt med et regionalt grundvandsmagasin klassificeres ådalen som *Ådalstype 5*.

Har Ådalsmagasinet derimod kontakt med en lavpermeabel Hydrogeologisk Enhed, klassificeres ådalen som *Ådalstype 9*, der er karakteriseret under smeltevandsslette.

3.2.2 Ådalstyper på smeltevandssletten (6-9)

På smeltevandssletten er det karakteristisk, at den Tilgrænsende Hydrogeologiske Enhed består af et grundvandsmagasin af mindre eller større udstrækning. Der kan dog også være strækninger, hvor Ådalsmagasinet har kontakt med en lavpermeabel Hydrogeologisk Enhed bestående af for eksempel moræneaflejringer. Dette er ofte forekommende omkring hovedopholdslinien og langs bakkeøerne. På figur 3.3 er der vist fire Ådalstyper typiske for smeltevandssletten. Deres forventede placering i landskabet fremgår af figur 3.1.



Figur 3.3. Ådalstype 6-9, der oftest træffes på smeltevandssletten.

Udspringsområde

Det er almindeligt for smeltevandssletten, at det tilgrænsende grundvandsmagasin mister kontakten med vandløbet om sommeren i udspringsområdet og langs dele af det øvre løb. Derfor vil tilstrømningen variere i løbet af året, og vandløbet kan under naturlige forhold tørre ud om sommeren. Vandløbet er meget lille. Ådalen kan være mindre eller mere udviklet. Indholdet af organisk materiale i Ådalsmagasinet er ofte lille, hvis det overhovedet findes. Ådalen klassificeres langs sådanne strækninger som *Ådalstype 6*. Det forventes, at grundvandstilstrømningen til denne Ådalstype består af oxideret, nitratholdigt vand.

Øvre og midterste strækning

Langs de øvre og midterste strækninger har Ådalsmagasinet kontakt med regionale grundvandsmagasiner, hvorfor tilstrømningen er stor og stabil. Det er karakteristisk, at vandløbet har skåret sig ned i smeltevandsslettens terrasser. Ådalen er ret dybt nedskåret, bred og med et ret stort relief til det omgivende opland. Det forventes, at der er tørveaflejringer øverst i Ådalsmagasinet, hvis afgrænsning i dybden i øvrigt er vanskelig at fastlægge, idet det geologiske materiale her er sammenligneligt med smeltevandsslettens aflejringer. Formodentlig er det en blanding af oxideret, nitratholdigt og reduceret, nitratfrit grundvand, der strømmer til ådalen. Ådale med sådanne karakteristika klassificeres som *Ådalstype 7*.

Nedre strækning

Langs de nedre strækninger af vandløbet er både vandløbet og ådalen væsentligt bredere, mens relieffet til oplandet atter er mindsket, hvilket antagelig vil medføre en mindre grundvandstilstrømning. Der er sandsynligvis et væsentligt indhold af organisk materiale øverst i Ådalsmagasinet. Ådale med denne karakteristik klassificeres som *Ådalstype 8*. Formodentlig er det også her en blanding af oxideret, nitratholdigt og reduceret, nitratfrit grundvand, der strømmer til ådalen.

Nogle steder på hedesletter findes lerlag tæt på terræn i ådalen. Det har den betydning, at det tilstrømmende grundvand tvinges op til terræn i ådalen.

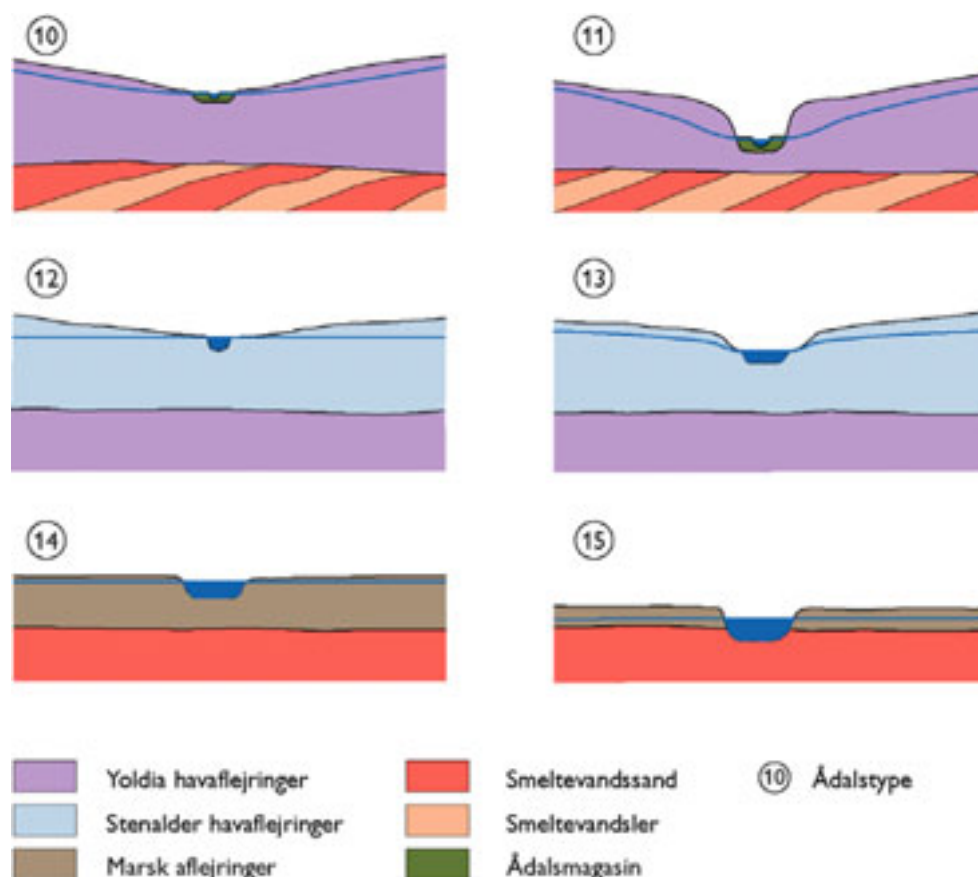
Grundvandstilstrømningen er sandsynligvis ikke så stor. Det tilstrømmende grundvand kan også her både være reduceret, nitratfrit og oxideret, nitratholdigt. På grund af vandløbets lille hældning er der mulighed for hyppige oversvømmelser fra vandløbet om vinteren. Det oversvømmende overfladevand vil sandsynligvis være nitratholdigt. Ådale med disse karakteristika klassificeres som *Ådalstype 9*.

Vandløb på smeltevandssletten kan endvidere langs den nedre strækning løbe gennem morænelandskaber. Ådalen klassificeres her som en af Ådalstyperne karakteriseret under morænelandskab (*Ådalstype 1 til 5*).

De vandløb, der *udmunder* mod vest, løber alle gennem havaflejringer på det allersidste stræk. De klassificeres derfor som en af Ådalstyperne karakteriseret herunder.

3.2.3 Ådalstyper på havaflejring (10-15)

Vandløbene i Nordjylland udspringer typisk i smeltevandsaflejringer og sandede morænelandskaber, løber herefter gennem finsandede Yoldia havaflejringer, derefter gennem de grovere, sandede aflejringer fra Stenalderhavet, og kan endelig løbe gennem flyvesandsforstærkede områder ved kysten (se figur 3.1). Færre vandløb udspringer i Yoldia- og Stenalderhavets aflejringer. Der er identificeret seks Ådalstyper på havaflejringer, illustreret i figur 3.4. Deres typiske placering i landskabet fremgår af figur 3.1.



Figur 3.4. Ådalstype 10-15 på havaflejringer. Ådalstype 10-11 på Yoldia havaflejringer, Ådalstype 12-13 på Stenalderhavets aflejringer, og Ådalstype 14-15 i marskaflejringer.

Yoldiahavets aflejringer

I Yoldiahavets aflejringer ligger således oftest vandløbenes *øvre og midterste strækninger*, omend både udspring og nedre løb også forekommer. Ådalens Tilgrænsende Hydrogeologiske Enhed består oftest af forholdsvis permeabelt finsand (grundvandsmagasin). Her findes to Ådalstyper, der adskiller sig ved ådalens relief, og eventuelt ved magasinets størrelse.

Ådalstype 10, der dækker det øvre løb, har en mindre udtalt dal, og afvander et mindre, regionalt magasin. Der er en relativt stor og stabil grundvandstilstrømning hele året til denne Ådalstype.

Ådalstype 11, der dækker det midterste løb, har en tydeligt udviklet dal med stort relief og stejle skrænter. Denne Ådalstype kan have et større, regionalt tilgrænsende magasin. Grundvandstilstrømningen til denne Ådalstype forventes at være stor og stabil hele året på grund af store potentialegradier.

På grund af den lave beliggenhed og terrænets lille hældning forventes redoxgrænsen at ligge højt, hvilket bevirker, at det tilstrømmende grundvand forventes at være reduceret og nitratfrit for begge Ådalstyper.

Der kan dog også forekomme strækninger, hvor Yoldia havaflejringerne er mere lerede, hvorfor den Tilgrænsende Hydrogeologiske Enhed her er lavpermeabel. Dette er dog ikke særlig hyppigt forekommende. Det må i disse tilfælde overvejes, hvilken af Ådalstyperne fra morænelandskabet, der kan anvendes (*Ådalstype 1 eller 2*).

Stenalderhavets aflejringer

I de *fladedækkende* dele af Stenalderhavets aflejringer i Nordjylland er der både små vandløb der har *hele deres løb* i Stenalderhavets aflejringer, samt *nedre strækninger* af de større vandløb. For alle vandløbene udgør Stenalderhavets aflejringer det tilgrænsende højpermeable grundvandsmagasin. Landskabet har en meget lille hældning og det ligger meget lavt. Der er to Ådalstyper, der dækker henholdsvis de små vandløb og de større vandløb. Forskellen herimellem udgøres primært af ådalens relief (se figur 3.4).

Ådalstype 12, der dækker de små vandløb, er således karakteriseret ved, at der stort set ikke er udviklet nogen ådal. Der er derfor næsten ingen potentialegradient op i ådalen, hvorfor grundvandstilstrømningen forventes at være meget lille. Der kan være oversvømmelser fra vandløbet dele af året.

Ådalstype 13 dækker det nedre løb af de større vandløb. Her er der dannet en ret smal ådal, der har et lille relief. Det må således forventes, at vandløbene i disse ådale afvander et lidt større område, hvilket medfører en lille grundvandstilstrømning til disse ådale.

På grund af den lave beliggenhed og terrænets lille hældning forventes redoxgrænsen ligeledes her at ligge højt, hvilket bevirker, at det tilstrømmende grundvand forventes at være reduceret og nitratfrit for begge Ådalstyper. Ved Ådalstype 13 forventes oversvømmende vand fra vandløbet at være oxideret og nitratholdigt.

I de områder af Stenalderhavets aflejringer, der ligger i *ffjord- og ådalene* længere mod syd, afhænger den Tilgrænsende Hydrogeologiske Enheds permeabilitet og størrelse af kontakten mellem ådalen og geologiske lag i det omgivende morænelandskab. I disse områder anvendes derfor Ådalstyper karakteriseret under morænelandskab (*Ådalstype 1 til 5*).

Marskaflejringer

I det sydvestlige Jylland, ved Vadehavet og de vestlige fjorde, løber de store vestvendte vandløbs *nedre strækninger* gennem marskaflejringer lige inden de *udmunder* i havet eller fjorden. Marskaflejringerne er typisk intensivt detailafvandede med grøfter, men da disse alle er menneskeskabte medtages de ikke på dette niveau af typologien. Da de lavpermeable marskaflejringers mægtighed begrænser sig til få meter, og de ligger ovenpå højpermeable smeltevandsaflejringer, skelnes der mellem to Ådalstyper.

I *Ådalstype 14* (figur 3.4) løber vandløbet i marskaflejringerne, der udgør den lavpermeable Tilgrænsende Hydrogeologiske Enhed. I *Ådalstype 15* har vandløbet kontakt med de underliggende smeltevandsaflejringer, der her udgør ådalens tilgrænsende grundvandsmagasin. Den naturlige grundvandstilstrømning forventes i begge tilfælde at være meget lille på grund af landskabets lille hældning og lave beliggenhed. Den naturlige grundvandstilstrømning forventes at være reduceret og nitratfri for begge Ådalstyper. De kan begge oversvømmes fra vandløbet med oxideret, nitratholdigt vand på grund af vandløbets lille hældning.

3.2.4 Ådalstyper på fladedækkende ferskvandsaflejringer

De fladedækkende ferskvandsaflejringer (større lavmoser) kan ligge langs alle strækninger af vandløbet fra udspring til udløb i havet. De er karakteriseret ved, at de enten overlejrer et morænelandskab eller en smeltevandsslette. Ådalsmagasinet er meget bredt (forventeligt mere end et par km). Det er sandsynligt, at der har været en stor nedskæring / fordybning og en efterfølgende opfyldning af Ådalsmagasinet, der forventes at være af flere meters mægtighed. Indholdet af organisk materiale er stort i de øvre dele af magasinet. På grund af den lille hældning kan ådalene oversvømmes fra vandløbet om vinteren.

Der er ingen selvstændige Ådalstyper for fladedækkende ferskvandsaflejringer. Ådalene klassificeres derfor på grundlag af permeabiliteten af den Tilgrænsende Hydrogeologiske Enhed. Er den lavpermeabel klassificeres ådalen som *Ådalstype 9*, er den højpermeabel som *Ådalstype 5 eller 8*.

3.2.5 Ådalstyper i klitlandskaber

Ganske få meget små vandløb udspringer i klitlandskaberne. Der er ingen eller kun en svagt udviklet ådal. Der er ingen selvstændige Ådalstyper for ådale i klitlandskaber, men de klassificeres som *Ådalstype 6*.

3.2.6 Samlet oversigt over Ådalstyper

En oversigtlig karakteristik og beskrivelse af de 15 Ådalstyper er givet i tabel 3.1 til 3.3. I tabellerne er den Tilgrænsende Hydrogeologiske Enhed relateret til magasinetype fra typologien for grundvandsforekomster angivet i tabel 1.1.

Tabel 3.1 Kriterier for og beskrivelse af Ådalstype 1-5, der oftest træffes i morænelandskab. Magasintype refererer til tabel 1.1. THE betyder Tilgrænsende Hydrogeologisk Enhed.

Kriterier for Ådalstyper		Beskrivelse af Ådalstyper	
<i>Tilgrænsende Hydrogeologisk Enhed</i>	<i>Ådalens geomorfologi</i>	<i>Ådalens hydrologi</i>	<i>Vandkvalitet i tilstrømning</i>
1		<ul style="list-style-type: none"> • Lille grundvandstilstrømning, der ophører om sommeren. • Vandløb udtørre sommer. 	
Tyk (> 10 m), lavpermeabel	Lidt nedskåret, smal dal med ringe relief		
2		<ul style="list-style-type: none"> • Mere stabil, lille grundvandstilstrømning, der aftager i løbet af sommeren. • Vandløb vandførende hele året. 	Reduceret, nitratfrit grundvand
Mindre tyk (< 10 m), lavpermeabel	Nedskåret, bred dal med ret stort relief		
3		<ul style="list-style-type: none"> • Nogen, ustabil grundvandstilstrømning, der aftager i løbet af sommeren. • Vandløb vandførende hele året. 	Både oxideret, nitratholdigt og reduceret, nitratfrit grundvand.
Lille, højpermeabel. Magasintype 3, 4, 9 eller 10.	Lidt nedskåret, ret smal dal med middel relief		
4		<ul style="list-style-type: none"> • Stor, stabil grundvandstilstrømning hele året. • Vandløb vandførende hele året. 	Både oxideret, nitratholdigt og reduceret, nitratfrit grundvand.
Stor, højpermeabel. Magasintype 3, 4, 9 eller 10.	Dybt nedskåret, bred dal med meget stort relief		
5		<ul style="list-style-type: none"> • Nogen, stabil grundvandstilstrømning hele året. • Vandløb vandførende hele året. • Oversvømmelser fra vandløb vinter. 	Sandsynligvis reduceret, nitratfrit grundvand, men der kan også være oxideret, nitratholdigt grundvand. Oxideret, nitratholdigt, overfladevand.
Stor, højpermeabel. Magasintype 3, 4, 9 eller 10.	Dybt nedskåret, meget bred dal med lille relief		

Tabel 3.2 Kriterier for og beskrivelse af Ådalstype 6-9, der oftest træffes på smeltevandssletten. Magasintype refererer til tabel 1.1. THE betyder Tilgrænsende Hydrogeologisk Enhed.

Kriterier for Ådalstyper		Beskrivelse af Ådalstyper	
<i>Tilgrænsende Hydrogeologisk Enhed</i>	<i>Ådalens geomorfologi</i>	<i>Ådalens hydrologi</i>	<i>Vandkvalitet i tilstrømning</i>
6		<ul style="list-style-type: none"> Lille grundvandstilstrømning, der ophører sommer. Vandløb udtørre sommer. 	Oxideret, nitratholdigt grundvand.
Lokal, højpermeabel. Magasintype 1 eller 7	Lidt nedskåret, smal dal med ringe relief		
7		<ul style="list-style-type: none"> Meget stor, stabil grundvandstilstrømning. Vandløb vandførende hele året. 	Både oxideret, nitratholdigt og reduceret, nitratfrit grundvand.
Regional, højpermeabel. Magasintype 3 eller 4.	Dybt nedskåret, bred dal med stort relief		
8		<ul style="list-style-type: none"> Stor, stabil grundvandstilstrømning. Vandløb vandførende hele året. Oversvømmelser fra vandløb vinter. 	Både oxideret, nitratholdigt og reduceret, nitratfrit grundvand. Oxideret, nitratholdigt, overfladevand.
Regional, højpermeabel. Magasintype 3 eller 4.	Dybere nedskåret, bred dal med middel relief		
9		<ul style="list-style-type: none"> Lille, stabil grundvandstilstrømning. Vandløb vandførende hele året. Oversvømmelser fra vandløb vinter. 	Både oxideret, nitratholdigt og reduceret, nitratfrit grundvand. Oxideret, nitratholdigt, overfladevand.
Regional, lavpermeabel. Magasintype 3 eller 4.	Dybt nedskåret, meget bred dal med lille relief		

Tabel 3.3 Kriterierfor og beskrivelse af Ådalstyper 10-15 i havaflejringer. Ådalstyper 10-11 findes i Yoldiahavets aflejringer, Ådalstyper 12-13 i Stenalderhavets aflejringer, og Ådalstyper 14-15 i marskaflejringer. Magasintyper refererer til tabel 1.1. THE betyder Tilgrænsende Hydrogeologisk Enhed

Kriterier for Ådalstyper		Beskrivelse af Ådalstyper	
<i>Tilgrænsende Hydrogeologisk Enhed</i>	<i>Ådalens geomorfologi</i>	<i>Ådalens hydrologi</i>	<i>Vandkvalitet i tilstrømning</i>
10		<ul style="list-style-type: none"> Nogen, stabil grundvandstilstrømning. Vandløb vandførende hele året 	Reduceret, nitratfrit grundvand.
Regional, højpermeabel. Magasintype 4.	Lidt nedskåret, smal dal med lille relief.		
11		<ul style="list-style-type: none"> Stor, stabil grundvandstilstrømning. Vandløb vandførende hele året. 	Reduceret, nitratfrit grundvand.
Regional, højpermeabel. Magasintype 4.	Ret dybt nedskåret, ret smal dal med stort relief.		
12		<ul style="list-style-type: none"> Meget lille, stabil grundvandstilstrømning. Vandløb vandførende hele året. Oversvømmelser fra vandløb vinter 	Reduceret, nitratfrit grundvand. Oxideret, nitratholdigt, overfladevand.
Regional, højpermeabel. Magasintype 4.	Nærmest ingen ådal.		
13		<ul style="list-style-type: none"> Lille, stabil grundvandstilstrømning. Vandløb vandførende hele året. Oversvømmelser fra vandløb vinter. 	Reduceret, nitratfrit grundvand. Oxideret, nitratholdigt, overfladevand.
Regional, højpermeabel. Magasintype 4.	Lidt nedskåret, ret smal dal, med lille relief.		
14		<ul style="list-style-type: none"> Meget lille grundvandstilstrømning. Vandløb vandførende hele året. Oversvømmelser fra vandløb vinter. 	Reduceret, nitratfrit grundvand. Oxideret, nitratholdigt, overfladevand.
Regional, lavpermeabel.	Nærmest ingen ådal.		
15		<ul style="list-style-type: none"> Meget lille grundvandstilstrømning. Vandløb vandførende hele året. Oversvømmelser fra vandløb vinter. 	Reduceret, nitratfrit grundvand. Oxideret, nitratholdigt, overfladevand.
Regional, højpermeabel. Magasintype 4.	Nærmest ingen ådal.		

3.3 Sammenfatning

I kapitel 3 er de enkelte Landskabstyper og Ådalstyper detaljeret karakteriseret . I morænelandskaber er der fem Ådalstyper, på smeltevandssletten fire Ådalstyper, og på havaflejringerne seks Ådalstyper. Der er ingen selvstændige Ådalstyper for fladedækkende ferskvandsaflejringer og klitlandskaber, der klassificeres som en af Ådalstyperne for smeltevandsslette eller morænelandskab. Kriterierne for klassifikation af den enkelte Ådalstype er opstillet. Dernæst er hydrologiske forhold i ådalen vurderet. Det omfatter beskrivelse af tilstrømningens størrelse og stabilitet, udtørring i vandløb samt oversvømmelser. Endelig er vandkvaliteten i det tilstrømmende grundvand og overfladevand vurderet.

4 Strømningsvarianter

Strømningsvarianterne karakteriserer, hvordan vandet strømmer gennem ådalen til overfladevandet.

Strømningsveje gennem ådalen afgør, hvorvidt vandet kommer i kontakt med biogeokemisk aktive miljøer i Ådalsmagasinet, der atter styrer hvilke processer omsætnings- og tilbageholdelsesmæssige processer, der kan foregå i ådalen. Til forskellige strømningsveje kan der, på grundlag af erfaringer fra hidtidige detailstudier i ådale og vådområder i Danmark, knyttes empiriske nitrat reduktionsprocenter. På grundlag af hvilken strømningsvej, der er dominerende for den enkelte strækning, klassificeres ådalene i Strømningsvarianter.

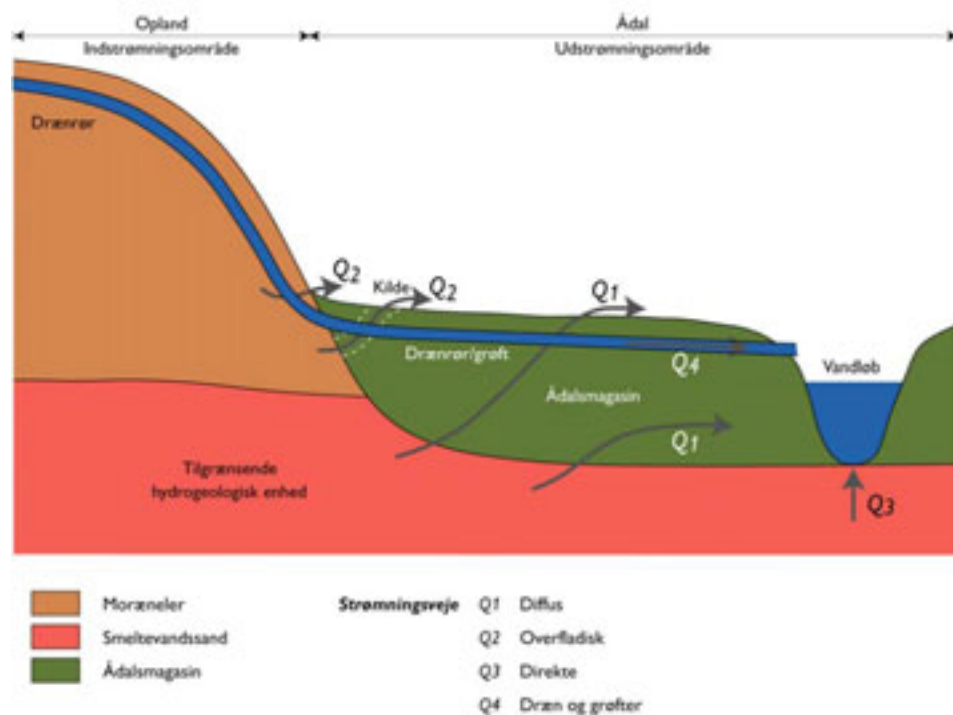
Disse kan anvendes til at udpege hvilke ådalsstrækninger, der vurderes at have en aktiv nitratreduktion, hvilke strækninger der vurderes at have et potentiale for nitratreduktion, og hvilke strækninger der ingen nitratreduktion har af betydning. Herved kan det vurderes, hvor der ved retablering af en mere naturlig hydrologi i ådalene kan opnås de største miljøeffekter i overfladevandet.

4.1 Strømningveje og nitratreduktion i ådale

For at kunne vurdere ådales evne til at omsætte nitrat ved denitrifikation, er det nødvendigt at kende grundvandets strømningsveje gennem ådalen til overfladevandet, da der til de enkelte strømningsveje kan knyttes empirisk bestemte typiske reduktionsprocenter for nitrat, baseret på vandets kontakt, under reducerende forhold, med forskellige materialetyper (specielt organisk materiale) samt opholdstid, hvori vandet er i kontakt med det organiske materiale. Dette uddybes nedenfor.

4.1.1 Strømningsveje gennem ådalen

I Nilsson et al (2003) er der foreslået en opdeling af strømmingen gennem ådalen i tre strømningsveje. I det følgende er der taget udgangspunkt i dette, men strømningsvejene, illustreret i figur 4.1, er her nærmere *defineret*, og der er tilføjet en strømningsvej, der beskriver detailafvanding i ådalen. Nummereringen af strømningsvejene er desuden tilrettet.



Figur 4.1. Strømningsveje Q_1 til Q_4 gennem ådal til overfladevand.

- 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 drænummøndinger), eller trænge frem længere ude i skarpt afgrænsede kildevæld, hvor der er gennembrud i lavpermeable sedimenter. 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 strømningsvej, der forløber *direkte fra den Tilgrænsende Hydrogeologiske Enhed gennem bunden af vandløbet*. Strømningsvejen er defineret ved, at vandet ikke kommer i kontakt med Ådalsmagasinets sedimenter. Hvor der findes ådalssedimenter mellem bunden af vandløbet og den Tilgrænsende Hydrogeologiske Enhed karakteriseres strømningsvejen som diffus (Q_1). Opholdstiden i vandløbsbunden, T_3 , forventes at være meget kort (timer).
- Q_4 er *strømning i dræn og grøfter i ådalen*. Strømningsvejen er defineret ved, at vand fra detailafvanding i oplandet føres via detailafvanding i ådalen helt ud til vandløbsbrinken, hvorved det ledes uden om Ådalsmagasinets sedimenter. Opholdstiden i dræn og grøfter i ådalen, T_4 , forventes at være af timer til dages varighed.

4.1.2 Nitratreduktion for strømningsveje gennem ådalen

På grundlag af en analyse af hidtil gennemførte danske detailstudier i ådale (Nilsson et al, 2003) samt (SNS, 2003), kan det konkluderes, at nitratreduktionens størrelse i ådalene primært afhænger af, at nitratholdigt grundvand under reducerende forhold kommer i kontakt med geologiske aflejringer, der indeholder > 3 % organisk materiale bestemt som glødetab. Derudover afhænger størrelsen også af mængden af nitrat, der tilføres aflejringerne.

På grundlag af de hidtidige studier foreslås derfor typiske reduktionsprocenter for nitrat angivet i tabel 4.1 for de fire strømningsveje. Værdierne i tabellen foreslås anvendt i GOI typologien, men ved retableringsprojekter af vådområder anbefales detailundersøgelser foretaget i de aktuelle områder til nærmere estimering af reduktionsprocenter.

Tabel 4.1 Typiske nitrat reduktionsprocenter for strømningsvej Q₁ til Q₄.

Strømningsvej	Organisk materiale i Ådalsmagasin (%)	Nitrat-reduktion (%)
Diffus strømning gennem Ådalsmagasin, Q ₁	< 3	0
	> 3	(10-97)
Overfladisk strømning, Q ₂		50 (20-99)
Direkte strømning gennem vandløbsbund, Q ₃		0
Strømning i dræn og grøfter, Q ₄		0

Det er således primært den diffuse strømning gennem Ådalsmagasinet (Q₁), der har en begrænsende indvirkning på nitrattilførslen til overfladevandet. Denne store procentuelle spredning (10-97 %) på nitratreduktionen repræsenterer et større antal danske studier (SNS, 2003; Nilsson et al, 2003). Hvis det organiske indhold i Ådalsmagasinet er under 3 %, har den diffuse strømning gennem Ådalsmagasinet ingen begrænsende effekt. Hvis det organiske indhold er over 3 % kan reduktionen være stor. For at estimere den samlede nitratreduktion for den diffuse strømning gennem Ådalsmagasinet (Q₁) er det derfor nødvendigt at estimere, hvor stor en del af strømmingen, der forløber i sedimenter med < 3 % organisk materiale, og sedimenter med > 3 % organisk materiale.

Den overfladiske afstrømning hen over Ådalsmagasinet (Q₂) har en nitratreduktion på i gennemsnit 50 % med en værdispredning på 20-99%.

Hverken den direkte tilstrømning til vandløbet (Q₃) eller tilstrømningen i dræn og grøfter (Q₄) har nogen begrænsende effekt på nitrattilførslen til vandløbet.

4.2 Fordeling af strømningsveje under naturlige strømningsforhold

I ådale med naturlige strømningsforhold vil strømningsvej Q₁ og Q₂ være dominerende. Fordelingen herimellem vil være styret af Ådalsmagasinets og vandløbsbundens permeabilitet. Strømningsvej Q₃ vil dog også kunne forekomme, hvor der ikke er udviklet et Ådalsmagasin.

4.3 Fordeling af strømningssveje under påvirkning af afvanding

Der har gennem tiden været foretaget mange indgreb i den naturlige hydrologi i ådale. Formålet med detail- og hovedafvandinger har været at få vandet hurtigst muligt væk fra oplandet og ådalene, ud i vandløbet, og herfra få det transporteret hurtigst muligt ud til havet. Der har dog også i sidste århundrede, især langs vandløbene på smeltevandssletten i Vestjylland, været anlagt overrislingsanlæg i engen. Disse er oftest ikke længere aktivt i brug, men mange grøfter findes stadig i ådalene. Andre væsentlige påvirkninger af hydrologien i ådalene er opstemninger i forbindelse med vandkraftanlæg, dambrug og sluser ved vandløbets udmunding i havet.

I Danmark må det forventes at mere end 90 % af potentielt dyrkede arealer med afvandingsbehov også er blevet afvandet gennem de sidste 100 år. Afvandingen er i mange områder foretaget som hovedafvandinger gennem udretning og uddybning af vandløb, grøftning, rørlægning af vandløb og udpumpning af vand fra tidligere vådområder, alle foranstaltninger der har til formål at sænke grundvandsspejlet og aflede vand fra et større landområde. Mange steder er der også foretaget en detailafvanding med anvendelse af dræn eller grøfter med det formål lokalt at sænke grundvandsspejlet og aflede vand. Ved afvandingen er vandets naturlige strømning i jorden enten blevet helt brudt, som ved indskydelse af dræn under rodzonen, eller vandets opholdstid i jorden er blevet formindsket ved grøftninger, udretning og kanalisering af vandløb eller ved udpumpning af vand fra tidligere vådområder.

Afvandingen spiller i de fleste danske Landskabstyper en væsentlig rolle i vandbalancen og dermed for den resulterende afstrømning i vandløb. De økologiske forhold i vandløb må forventes at være mest påvirket af afvandingen, når det drejer sig om maksimums- og minimumsafstrømningen (Refsgaard et al, 2002). Afvandingen har dog også stor betydning for kvaliteten af overfladevand. Drænvand har således, på grund af den nære beliggenhed på rodzonen, et højt indhold af næringsstoffer og et højere indhold af uorganiske og organiske sporstoffer (tungmetaller, pesticider, PAH'er, phenoler, mv.) end grundvand. Dræning, grøftning, pumpelag og kanalisering af vandløb er derfor alle afvandingstiltag, som er med til at føre grundvand hurtigere frem til overfladevand end under naturlige strømningssforhold. Derved er grundvandets interaktion med Ådalsmagasinet reduceret, hvilket har betydning for biogeokemiske processer som sorption, omsætning og nedbrydning.

Vand, der strømmer i dræn, defineres i Vandrammedirektivet som overfladevand, selvom det stammer fra et grundvandsmagasin. Dvs kontakten mellem grundvand og overfladevand finder sted langs drænene, ligesom langs vandløbene. Derfor er det vigtigt at inddrage dræn i samspillet mellem grundvand og overfladevand. På grund af afvandingens store omfang og betydning for vandbalancen, vandmængden og vandkvaliteten i overfladevandet, er det nødvendigt også at inddrage afvandingsforhold i GOI typologien. I analysen af hvilke virkemidler, der kan anvendes til for at opnå en god økologisk tilstand i overfladevand, kan genopretning af grundvandets naturlige samspil med overfladevand være en løsning, der både tilgodeser overfladevandets kvantitet og kvalitet.

Afvandingens omfang i Danmark

I dag er ca. 1,4 millioner hektar landbrugsjord drænet svarende til ca. halvdelen af landbrugsarealet (tabel 4.2). Til sammenligning er der ca. 140.000 hektar pumpeareal i Danmark (Madsen og Holst, 1987). Udviklingen i det drænedes areal og dræningens omfang i de forskellige landsdele er vist i tabel 1 frem til omkring 1979. Som det tydeligt fremgår af tabellen er andelen af drænet landbrugsjord især

stor på de mere lerede jorde på Øerne. Siden 1980 er der ikke gennemført betydende nydræninger. Derimod må det forventes, at det drænedede areal er faldet i omfang på grund af restaurering af vandløb og vådområder, samt dræn der forfalder.

Tabel 4.2. Dræningens udvikling i forskellige landsdele indtil 1979 (Aslyng, 1980).

Landsdel	1000 hektar			Procent af landbrugsareal		
	1861	1929	1979	1861	1929	1979
Sønderjylland	-	17	183	-	5	62
Vestjylland	3	80	288	0,7	11	35
Nordjylland	1	60	129	0,4	11	30
Østjylland	9	148	234	2,0	26	46
Fyn	6	123	135	2,3	43	55
Vest- og Østsjælland	11	260	247	2,2	45	73
Storstrøms amt	3	95	198	2,6	66	80
Bornholm	<5	21	22	0,3	52	60
Hele landet	33	804	1436	1,6	25	49

Betydning af dræn for vandbalance og afstrømning

Afstrømningen i dræn er målt i flere drænundersøgelser af Danmarks JordbrugsForskning (DJF) og i det landsdækkende overvågningsprogram (NOVA). Målinger af drænaftstrømningen i de forskellige landsdele set i forhold til vandbalancen for de drænedede arealer viser tydelige regionale forskelle (tabel 4.3). Afstrømningen via dræn varierer mellem 97 mm og 416 mm med de største værdier i drænene i det sønderjyske og vestjyske område. Den gennemsnitlige drænaftstrømning fra de 7 lokaliteter er på 202 mm. Drænaftstrømningens andel af nettonedbøren og den modelberegnete total afstrømning på de 7 lokaliteter er i gennemsnit på 44% med en variation mellem 27-73% (tabel 4.3).

Tabel 4.3. Nedbør, modelberegnet aktuel fordampning, drænvandsafstrømning, modelberegnet perkolation af vand gennem rodzonen og resulterende perkolation af vand til dybere grundvand (Simmelgaard, 1994). Bemærk at der i tabellen er anvendt korrigerede nedbørsdata til jordoverfladen efter Allerup og Madsen (1979).

Station	Startår	Nedbør (mm)	Fordampning (mm)	Dræn afstrømning (mm)	Nedsivning (mm)	Total afstrømning (mm)
<i>Åbenrå</i>	1974	1033	466	416	145	561
<i>Lunding Haderslev</i>	1971	891	453	118	323	441
<i>Sdr. Stenderup Fredericia</i>	1973	888	454	181	248	429
<i>Agervig Esbjerg</i>	1978	1029	439	253	335	588
<i>Norring Århus</i>	1971	755	423	97	237	334
<i>Silstrup Thisted</i>	1971	989	441	210	342	552
<i>Næstved</i>	1971	693	438	136	118	254
Gennemsnit		897	445	202	250	451

I NOVA programmet er der hvert år 1989 målt drænaftstrømning og næringsstoffer i 3 dræn i oplandet til Lillebæk på Fyn og i 3 dræn i oplandet til Højvads Rende på Lolland (tabel 4.4). Drænaftstrømningen i de 3 dræn på Fyn var i gennemsnit på 161 mm pr. år mod 131 mm pr. år i de 3 dræn på Lolland. Den årlige drænaftstrømningens gennemsnitlige andel af den årlige totale perkolation af vand fra

rodzonen var på 46 % i de 3 dræn på Fyn stigende til 52 % i de 3 dræn på Lolland. Både i de gamle drænmålinger vist i tabel 4.3 og i de nyere drænmålinger vist i tabel 4.4 udgør drænaftstrømningen således i gennemsnit omkring halvdelen af nettonedbøren eller perkolationen af vand fra rodzonen. Før arealerne blev drænet, må det forventes at den største del af drænaftstrømningen perkolerede ned til grundvandsmagasiner, dog med en forventet lidt større Overfladisk afstrømning på grund af en hyppigere vandmætning i jorden.

Tabel 4.4. Modelberegnet perkolation af vand fra rodzonen og målt drænaftstrømning fra 6 dræn i to vandløbsoplande igennem 1990'erne.

Drænstation	Total perkolation	Drænaftstrømning	Drænaftstrømning % af perkolation
<i>Højvads Rende</i>			
Dræn 3	244 mm	144 mm	59 %
Dræn 5	263 mm	152 mm	58 %
Dræn 6	208 mm	97 mm	47 %
<i>Lillebæk</i>			
Dræn 2	366 mm	222 mm	61 %
Dræn 4	325 mm	137 mm	42 %
Dræn 6	363 mm	124 mm	34 %

Betydning af drænen for tilførsel af næringsstoffer til overfladevand

Da omkring halvdelen af nettonedbøren i dag hurtigt føres fra bunden af rodzonen gennem dræn til vandløb og søer, må det forventes at dette vand er beriget med f.eks kvælstof og fosfor fra landbrugets dyrkning. Som det kan ses af tabel 4.5, er dette også tilfældet for de 6 dræn i de 2 vandløbsoplande på Fyn og Lolland. Uden dræning ville en stor del af den nitrat, der i dag tabes fra drænene, være perkoleret til grundvandsmagasiner, hvor nitraten alt afhængig af de lokale redoxforhold kunne blive omsat via denitrifikationsprocesser (se figur 1.1). Koncentrationen af nitrat-N i drænvand er således mere end dobbelt så høj som i grundvandet i 3 m's dybde ved de samme lokaliteter (Højvads Rende: 5,7 mg N/l; Lillebæk: 7,0 mg N/l). Koncentrationen af nitrat-N i drænvandet er også højere end koncentrationen i vandløbet som afvander de to oplande (Højvads Rende: 9,1 mg N/l; Lillebæk: 11,6 mg N/l).

Derimod er koncentrationen af total fosfor i drænvand mindre end koncentrationen i vandløb i samme områder (Højvads Rende: 0,114 mg P/l; Lillebæk: 0,199 mg P/l). Andre undersøgelser har vist at store mængder både opløst og partikelbundet fosfor kan nedvaskes til dræn fra det fosforberigede pløjelag og dermed belaste vandløb og søer (Grant et al, 1996). Tilsvarende er der ved eksperimentelle undersøgelser konstateret, at nyligt udsprøjtede pesticider via makroporer og sprækker kan nedvaskes til dræn og dermed belaste overfladevand (Kronvang et al, 2002).

Tabel 4.5. Gennemsnitligt årligt tab og vandføringsvægtet koncentration af nitrat kvælstof og total fosfor fra seks dræn igennem perioden 1990 - 2000.

Drænstation	Nitrat-N		Total P	
	Tab (kg N/ha)	Vandføringsvægtet koncentration (mg N/l)	Tab (kg P/ha)	Vandføringsvægtet koncentration (mg P/l)
<i>Højvads Rende</i>				
Dræn 3	18,9	14,4	0,036	0,038
Dræn 5	21,9	14,7	0,040	0,025
Dræn 6	16,0	18,4	0,170	0,018
<i>Lillebæk</i>				
Dræn 2	29,0	13,2	0,101	0,040
Dræn 4	20,0	15,9	0,031	0,016
Dræn 6	28,4	27,3	0,061	0,051

I en oplandsundersøgelse i et lille østjysk vandløb (Gelbæk i Gjern Å, Gudenåen) blev der i to hydrologiske år (1983-1985) målt drænaftstrømning og tab af næringsstoffer med drænen indenfor et 167 ha delopland til vandløbet. Samtidigt blev der målt synkront på afstrømning og transport af næringsstoffer ved en måleopstation opstrøms og nedstrøms for forsøgsarealer (Kronvang et al, 1987). Vand- og næringsstofbalancen for det 167 ha store opland viste, at de 21 dræn bidrog med 64% og 82% af afstrømningen fra forsøgsoplandet, med den mindste andel i måleåret med den største afstrømning (tabel 4.6). Tabet af kvælstof fra drænene bidrog i begge måleår også med hovedparten af kvælstoftilførslen til vandløbsstrækningen, igen med den mindste andel i det mest afstrømningsrige måleår (tabel 4.6). Derimod var drænenes andel af tilførslen af total fosfor større i det våde år end i det tørre år (tabel 4.6). Oplandsstudiet viser, hvor stor betydning detailafvanding med dræn kan have for både afstrømning og næringsstofftilførsel til vandløb. Uden detailafvanding ville nedbørsoverskuddet i oplandet indgå i grundvandsdannelsen og først efter længere tids ophold i grundvandsmagasiner blive transporteret til vandløbene. Herved ville en del af det udvaskede nitrat fra markerne i oplandet formentlig blive udsat for denitrifikationsprocesser, hvorefter kun en del ville tilføres vandløbet med grundvandet.

Tabel 4.6 Vand- og stofbalance for et 167 ha stort delopland ved Gelbæk i Gjern Å oplandet målt ved to vandløbsstationer opstrøms- og nedstrøms for forsøgsområdet, samt drænvandets andel heraf målt i 21 dræn langs vandløbet (Kronvang et al, 1987).

	Vand- og stofbalance for deloplandet	Dræns andel af balancen	Vand- og stofbalance for deloplandet	Dræns andel af balancen
	1983/1984		1984/1985	
Afstrømning	314 mm	64 %	277 mm	82 %
Total N	35,5 kg N/ha	56 %	19,2 kg N/ha	88 %
Nitrat-N	28,2 kg N/ha	53 %	14,6 kg N/ha	92 %
NH ₄ -N	2,2 kg N/ha	116 %	1,3 kg N/ha	95 %

Total P	0,82 kg P/ha	88 %	1,72 kg P/ha	34 %
---------	--------------	------	--------------	------

4.3.1 Detailafvanding

Detailafvanding af et område udføres ved hjælp af *drænrør eller grøfter*. Det kan afstedkomme følgende situationer:

Afvanding i opland udmunder i ådalsskrænt

Udmunder drænrør eller grøfter fra oplandet i ådalsskrænten, kan vandet derfra løbe overfladisk hen over ådalen (Q_2) eller infiltrere ned i Ådalsmagasinet (Q_1). Der vil herved være mulighed for omsætning af nitraten ved kontakt med Ådalsmagasinets organiske sedimenter.

Afvanding gennemført direkte til vandløbsbrink

Vand, der fra dræn i oplandet derimod fortsætter gennem ådalen i dræn og grøfter helt ud til vandløbsbrinken (Q_4) kommer ikke i kontakt med Ådalsmagasinets organiske sedimenter. Der foregår derfor ingen reduktion af nitratindholdet i vandet, der strømmer direkte ud til overfladevandet.

Afvanding i ådal

Detailafvanding i selve ådalen (Q_4) fremkalder, på grund af vandspejlssænkningen, desuden en iltning og dermed nedbrydning af tørven, der medfører en stor udvaskning via drænene eller grøfterne af kvælstof og andre stoffer til overfladevandet.

Potentialet for nitratreduktion i Ådalsmagasinet udnyttes i den første situation. I den anden situation udnyttes potentialet ikke, og i den sidste situation bidrager ådalene selv direkte til kvælstoftilførslen til overfladevandet. De to sidstnævnte tilfælde har derfor ingen begrænsende indvirkning på nitrattilførslen til overfladevandet.

4.3.2 Hovedafvanding

Hovedafvanding af vandløbet omfatter en *uddybning, udvidelse og udretning af vandløbslejet*. Ved hovedafvandingen kan vandløbenes bund være så stærkt uddybet, at Ådalsmagasinets organiske sedimenter er gennemgravet. Vandløbet har derved fået direkte kontakt med den Tilgrænsende Hydrogeologiske Enhed. Grundvandsudstrømningen kan derved passere forbi Ådalsmagasinets organiske aflejringer direkte op i vandløbet.

Den miljømæssige effekt heraf på overfladevandet afhænger dog af kvaliteten af det udstømmende grundvand. Er dette reduceret, nitratfrit grundvand fra dybere liggende magasiner, vil en sådan hovedafvanding ikke påvirke tilførslen af nitrat til vandløbet. Er det derimod overfladenært, nitratholdigt grundvand, der strømmer direkte til vandløbet, vil hovedafvandingen medføre en øget nitrattilførsel til vandløbet.

For at vurdere en hovedafvandings effekt på vandkvaliteten i overfladevandet er det derfor nødvendigt at have kendskab til om:

- Der er etableret direkte kontakt mellem vandløbet og den Tilgrænsende Hydrogeologiske Enhed udenom Ådalsmagasinet
- Det i givet fald er nitratholdigt grundvand, der strømmer direkte til vandløbet.

Det naturlige oftest slyngede og fladere leje af vandløbet bevirkede en langsommere transport af vandet i vandløbet på grund af en mindre vandløbshældning og en større modstand mod strømmingen i selve lejet. Dette bevirkede at vandløbet oftere i vinterperioden oversvømmede de vandløbsnære arealer. Under oversvømmelsen foregik der en vis denitrifikation af nitrat i det oversvømmende vand ved kontakten med ådalens organiske sedimenter (Q_2). En sådan kontakt mellem vandløb og ådal mindskes eller fjernes helt ved hovedafvandning af vandløbet. Herved mindskes også nitratreduktionen.

4.4 Strømningsvarianter

På grundlag af ovenstående defineres derfor følgende fire Strømningsvarianter, der erstatter de tidligere foreslåede Naturlige og Antropogene Varianter i Nilsson et al (2003).

4.4.1 Diffus Strømningsvariant

- I denne Strømningsvariant er diffus strømning gennem Ådalsmagasinet (Q_1) dominerende.
- Strømningsvarianten vil sandsynligvis oftest findes i ådale med naturlige strømningsforhold.
- Den fremkommer, hvor Ådalsmagasinet og vandløbsbundens permeabilitet er høj nok til at lede det tilstrømmende vand gennem magasinet til vandløbet.
- Det forventes at denne Strømningsvariant vil karakterisere ådale med overvejende svagt og moderat humificeret tørv samt sandede aflejringer i Ådalsmagasinet.
- Terrænoverfladen i ådalen vil være relativt tør.
- Ådalen vil fremstå som eng, eller den kan være skovbevokset eller eventuelt opdyrket.

4.4.2 Overfladisk Strømningsvariant

- I denne Strømningsvariant er overfladisk strømning (Q_2) gennem ådalen dominerende.
- Denne Strømningsvariant vil sandsynligvis oftest findes i ådale med naturlige strømningsforhold.
- Den fremkommer, hvor enten Ådalsmagasinet eller vandløbsbundens permeabilitet ikke er høj nok til at lede det tilstrømmende vand gennem magasinet til vandløbet. Ligger trykpotentialet i den Tilgrænsende Hydrogeologiske Enhed over terrænniveau, vil vandet overfladisk strømme hen over hele eller dele af ådalen.
- Strømningsvarianten vil sandsynligvis findes, hvor Ådalsmagasinet overvejende består af stærkt humificeret tørv og / eller limnisk (gytje) eller andre finkornede aflejringer.
- Terrænoverfladen vil være våd og der vil være frit strømmende vand på overfladen (vandet skal være strømmende).
- Ådalen kan karakteriseres som et vådområde eller en mose.
- Er ådalen skovbevokset vil det ofte være arter, der ynder strømmende vand, såsom el, der trives her.

4.4.3 Direkte Strømningsvariant

- I denne Strømningsvariant er den direkte strømning fra den Tilgrænsende Hydrogeologiske Enhed gennem vandløbsbunden (Q_3) dominerende.
- Strømningsvarianten findes oftest i ådale, hvori der er foretaget en hovedafvanding af vandløbet, som har medført at Ådalsmagasinets organiske sedimenter er gennemgravet, og vandløbet har fået direkte kontakt til den Tilgrænsende Hydrogeologiske Enhed.
- Vandløbet vil på disse strækninger ofte have et ret lige forløb, og ligge dybt i forhold til ådalens terrænoverflade.
- Strømningsvarianten vil dog også forekomme langs vandløb med naturlig hydrologi, hvor der ikke er udviklet et Ådalsmagasin.
- I begge tilfælde vil ådalens terrænoverflade være tør.
- Ådalen vil også her fremstå som eng eller eventuelt være opdyrket.

4.4.4 Detailafvandet Strømningsvariant

- I denne Strømningsvariant er afstrømning gennem dræn og grøfter i ådalen (Q_4) dominerende.
- Der kan være synlige grøfter i ådalen.
- Drænrør udmunder direkte i vandløbsbrinken.
- Til denne type hører ikke de ådale, hvor dræn eller grøfter fra oplandet udmunder i ådalsskrænten.

4.5 Ådales begrænsende indvirkning på nitrattilførsel til overfladevand

Med det formål at kunne udpege ådale, der har en begrænsende indvirkning på nitrattilførslen til overfladevandet, foreslås ådalene inddelt i følgende tre grupper.

Aktivt nitratbegrænsende ådale

De aktivt nitratbegrænsende ådale er karakteriseret ved at størsteparten af gennemstrømningen foregår diffust gennem et Ådalsmagasin med mere end 3 % organisk materiale (Q_1). Ådalen er klassificeret som Diffus Strømningsvariant. Det er endvidere ådale med overfladisk strømning hen over Ådalsmagasinet (Q_2). Disse er klassificeret som Overfladisk Strømningsvariant.

Potentielt nitratbegrænsende ådale

De potentielt nitratbegrænsende ådale er detailafvandede ådale, og ådale hvori vandløbet er hovedafvandet. De detailafvandede ådale er klassificeret som *Detailafvandet Strømningsvariant*, mens de hovedafvandede ådale ofte er klassificeret som *Direkte Strømningsvariant*.

Ådale uden nitratbegrænsning

Ådale uden nitratbegrænsning omfatter de ådale, hvori strømningen foregår diffust gennem et Ådalsmagasin, hvori det organiske indhold er under 3 % (Q_1). Det forventes, at disse strækninger ikke er ret udbredte, og at de oftest vil ligge i den øvre ende af vandløbet. De er klassificeret som *Diffus Strømningsvariant*. Det kan dog også være ådale, hvori der er en naturlig direkte tilstrømning til vandløbet uden kontakt med Ådalsmagasinet (Q_3). Disse ådale er klassificeret som *Direkte Strømningsvariant*.

4.6 Sammenfatning

Strømningsvarianterne karakteriserer, hvordan vandet strømmer gennem ådalen til overfladevandet. Strømningsvarianterne klassificeres på grundlag af den dominerende strømningsvej i ådalen. Strømningsveje gennem ådalen til overfladevandet er afgørende for hvorvidt og i hvor høj grad denitrifikation kan reducere grundvandets nitratindhold under passagen af ådalen. Strømningsveje er i GOI typologien defineret ud fra vandets kontakt, under reducerende forhold, med forskellige materialetyper, specielt organisk materiale, samt opholdstid, hvori vandet er i kontakt med organisk materiale. Fire strømningsveje er identificeret og defineret.

5 Metoder til klassifikation ifølge GOI typologien

5.1 Samlet nøgle for GOI typologi

Tabel 5.1 viser en samlet nøgle for GOI typologien, der anvendes ved klassifikation af Landskabstype, Ådalstype og Strømningsvariant.

Tabel 5.1 Samlet nøgle for GOI typologi.

Landskabstype	Ådalstype		Strømningsvariant
	Hydraulisk ledningsevne af tilgrænsende hydrogeologisk enhed	Størrelse af tilgrænsende hydrogeologisk enhed samt ådalgeomorfologi	
Morænelandskab (I)	Højpermeabel	3, 4, 5, 6	Diffus, Overfladisk, Direkte, Detailafvandet
	Lavpermeabel	1, 2, 9	Diffus, Overfladisk, Direkte, Detailafvandet
Smeltevandsslette (II)	Højpermeabel	6, 7, 8, 9	Diffus, Overfladisk, Direkte, Detailafvandet
	Lavpermeabel	1, 2, 9	Diffus, Overfladisk, Direkte, Detailafvandet
Havaflejring (III)	Højpermeabel	10, 11, 12, 13, 15	Diffus, Overfladisk, Direkte, Detailafvandet
	Lavpermeabel	1, 2, 14	Diffus, Overfladisk, Direkte, Detailafvandet
Fladedækkende ferskvandsaflejring (IV)	Højpermeabel	5, 8	Diffus, Overfladisk, Direkte, Detailafvandet
	Lavpermeabel	9	Diffus, Overfladisk, Direkte, Detailafvandet
Klitlandskab (V)	Højpermeabel	6	Diffus, Overfladisk, Direkte, Detailafvandet

5.2 Klassifikation ifølge GOI typologi

Først klassificeres Landskabstypen på grundlag af en karakterisering af den regionale geomorfologi og geologi.

Dernæst klassificeres Ådalstypen ved først at karakterisere den hydrauliske ledningsevne af den eller de Tilgrænsende Hydrogeologiske Enhed(er) (høj- eller lavpermeabel), og dernæst karakterisere størrelsen af den Tilgrænsende Hydrogeologiske Enhed (lokal eller regional), samt ådalens geomorfologi (tabel 3.1 til 3.3). Eventuelt kan placeringen af grundvandsmagasiner karakteriseres (overfladenær eller dybereliggende) til brug for en vurdering af forventede redoxforhold og nitratindhold i grundvandstilstrømningen herfra.

Endelig klassificeres Strømningsvarianten på grundlag af en karakterisering af hvilken strømningstype, der er dominerende i ådalen.

5.3 Metoder til klassifikation af Landskabstype

Klassifikation af Landskabstypen kan foretages ud fra en *geomorfologisk analyse*. Da Landskabstypen beskrives på regional skala, vil Landskabskort over Danmark (Smed, 1981) sammen med et jordartskort ofte kunne anvendes ved klassifikationen. Det skal her fremhæves, at Landskabskort over Danmark er af stor målestok (ikke angivet), og at tolkninger ikke alle steder er lige præcise.

Vurderes det nødvendigt med et nærmere kendskab til den genetiske dannelse, eller er der ligefrem behov for en ny geomorfologisk analyse, kan topografiske kort i form af kurveplaner, geologiske data (Jupiter) og geofysiske data (Gerda), geologisk funderede tematiske kort, Aerial Information System (AIS), luftfoto, og endelig litteraturen inddrages. Metodikken for en geomorfologisk analyse er kendt og beskrives derfor ikke yderligere her. Af relevante data kan nævnes:

Data	Målestok	Reference / Udgiver
<i>Uden ny geomorfologisk analyse</i>		
• Tematiske kort:		
- Landskabskort over Danmark	-	Geografforlaget
- Danmarks Digitale Jordartskort	1:25.000	GEUS
- Danmarks Digitale Jordartskort	1:200.000	GEUS
<i>Med ny geomorfologisk analyse</i>		
• Topografiske kort:		
- Sognekort	1:20.000	KMS
- Målebordsblade/generalstabskort	1:20.000	KMS
- 4-cm kort	1:25.000 / digitale	KMS
- TOP10DK	1:10.000 / digitale	KMS
- Kurveplaner	Diverse / digitale	KMS og andre
• Geologiske data:		
- Danmarks geologiske database (JUPITER) / digitale		GEUS
- Danmarks geofysiske database (GERDA) / digitale		GEUS
- Geologiske Basisdatakort	1:50.000	GEUS
- Geologiske kort over Danmark	1:400.000	GEUS
• Tematiske kort:		
- Danmarks Digitale Jordartskort	1:25.000	GEUS
- Danmarks Digitale Jordartskort	1:200.000	GEUS
- Landskabskort over Danmark	-	Geografforlaget
- Areal Information System (AIS)	Diverse / digitale	DMU
• Ortofoto	1:25.000 / digitale	Kampsax
F.eks Danmarks Digitale Ortofoto (DDO), Kampsax (1995 og 1999)		
• Luftfoto	1:25.000	
F.eks Danish Secret Service (1954)		
• Litteratur	-	Diverse

For en detaljeret beskrivelse af digitale kort og GIS baserede data henvises til følgende:

- Geodata-info, <http://www.geodata-info.dk>
- Kort og Matrikelstyrelsen, <http://www.kms.dk>
- Danmarks Miljøundersøgelser, <http://www.dmu.dk>
- Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse, <http://www.geus.dk>
- Forsvarets Forskningstjeneste, <http://www.ddre.dk>.

5.4 Metoder til klassifikation af Ådalstype

5.4.1 Afgrænsning af Ådalsmagasin

Geografisk afgrænsning

Ådalsmagasinet afgrænses geografisk *fra skræntfod til skræntfod* af den ådal, der hører til det nutidige vandløb. Afgrænsningen foretages på grundlag af en samlet tolkning af:

- Topografiske kurveplaner (1:25.000 / digitale ved KMS)
- Jordartskort (1:25.000 / digitale ved GEUS).

Ofte vil der øverst i Ådalsmagasinet være postglaciale ferskvandsaflejringer, men der kan også forekomme andre sedimenttyper. Opmærksomheden henledes på, at jordartskortene viser jordarten i 1 meters dybde under terræn. Jordarten her kan eventuelt afvige fra jordarten indenfor den øverste meter.

På grund af afvanding og grundvandsindvinding, især i det 20. århundrede, er den naturlige grundvandsudstrømning til vådområder og vandløb mindsket (Henriksen og Sonnenborg, 2003). Vådområde arealet er derfor også mindsket. For at få indblik i vådområdernes 'oprindelige' udbredelse kan:

- Målebordsblade / generalstabskort (1:20.000) fra slutningen af det 19. århundrede anvendes (ved KMS og andre).

På målebordsbladene er signaturer for våde områder opdelt i *eng, mose og marsk*. Endvidere er tørveskær angivet, hvilket indikerer en vis tørveopbygning. Ækvidistancen på de ældste målebordsblade er 5 fod (svarende til ca 1,55 m), herefter 2,5 m og på de yngste 2 m. Scannede målebordsblade er tilgængelige ved GEUS.

Dybde afgrænsning

Afgrænsning af Ådalsmagasinet i dybden foretages ud fra geologiske informationer i ådalen. Specielt på smeltevandssletten kan det være svært af afgrænse dybden, da der nederst i Ådalsmagasinet kan ligge sedimenttyper, der er sammenlignelige med den Tilgrænsende Hydrogeologiske Enheds sedimenttype (sand). Forslag til datakilder er:

- Geologiske data (Jupiter databasen / digitale ved GEUS).
- Database over boringer foretaget i forbindelse med okkerkortlægningen i lavbundsområder i Jylland (digitale ved DJF).
- Boringer fra detailundersøgelser (f.eks VMP2 områder ved amterne)
- Geofysiske data (Gerda databasen / digitale ved GEUS).

Databasen fra okkerkortlægningen (Madsen, 1980; Madsen et al, 1984; Madsen et al, 1985) er ikke umiddelbart tilgængelig, men der ligger ca 8000 værdifulde borer med mange relevante informationer for arbejdet med GOI typologien.

5.4.2 Ådalens geomorfologi

Bredden af Ådalsmagasinet (fra skræntfod til skræntfod) kan estimeres ud fra f.eks. målebordsblade, 4-cm topografiske kort eller kurveplaner. En Digital Terræn Model (DTM) med en stor vertikal opløsning (TOP10DK) kan med fordel også anvendes.

Et mere præcist billede opnås imidlertid ved en digitalisering på grundlag af ortofotos og luftfotos (Langhoff, 2001). Det kan være nødvendigt at korrigere bredden efter feltverificering, da krat og træer på fotos kan gøre det umuligt at bestemme skræntfodens position. Denne kan også være vanskelig at bestemme uden feltrekognoscering, såfremt overgangen til oplandet er jævn.

Det understreges, at luftfotos, analyseret ved hjælp af spejlstereoskopi, altid bør anvendes, idet denne metode ofte afslører strukturer i landskabet, som ikke ellers er beskrevet andet steds (Kuehn et al, 2000; Langhoff, 2001). Det anbefales at anvende ortofotos som baggrundskort for digitalisering af diverse geomorfologiske grænser. De nyeste landsdækkende ortofotos har en pixellængde på 40 cm, en anbefalet målestok på 1:25.000 og en plannøjagtighed på omkring 2,5 pixels, cirka en meter (Kampsax, 1999).

Til bestemmelse af *relieffet* (ådalens skrænthøjde) kan målebordsblade, 4-cm topografiske kort, topografisk kurveplaner eller en Digital Terræn Model (DTM) med en stor vertikal opløsning (TOP10DK) anvendes.

For reference til omtalte materiale henvises til ovenstående liste.

5.4.3 Tilgrænsende hydrogeologisk enhed

Karakterisering af kontakten mellem de Tilgrænsende Hydrogeologiske Enheder, Ådalsmagasinet og overfladevandet omfatter en samlet regional, hydrogeologisk konceptualisering, baseret på den geologiske opbygning omkring ådalen, strømningsforhold i grundvandsmagasinerne, samt baseflow afstrømning i vandløb.

Geologisk opbygning

Kortlægning af den geologiske opbygning findes i et vist omfang for de forskellige amter, men de har ikke altid tilstrækkelig detaljeringsgrad. Er den geologiske og hydrogeologiske kortlægning af oplandet ufuldstændig eller mangelfuld, bør der ske opdatering heraf. Metodikker hertil er velkendte og skal derfor ikke beskrives yderligere her, men analysen kan foretages på grundlag af:

- Geologiske profiler langs ådalen og på tværs af ådalen ud fra borer i Jupiter databasen ved GEUS.
- Jordartskort (1:25.000) ved GEUS.
- Anden aktuel regionalgeologisk kortlægning.

Reference til omtalte materiale findes ovenfor.

Afgrænsning af grundvandsmagasiner

I forbindelse med basisanalysen af vandområdedistrikterne (Miljøstyrelsen, 2004) skal alle grundvandsmagasiner (både lokale/overfladenære og regionale/dybe)

afgrænses, karakteriseres og eventuelt opdeles i grundvandsforekomster under den generelle karakterisering, der finder sted i 2004 (jævnfør kapitel 1). Grundvandsforekomsterne skal herefter klassificeres ifølge typologien for grundvandsforekomster angivet i tabel 1.1, blandt andet efter deres kontakt med overfladevand. Principperne for dette arbejde er beskrevet i Miljøstyrelsen (2004).

I forbindelse med amternes kortlægning af grundvandsressourcer er de *dybe* grundvandsmagasiner, der er aktuelle for grundvandsindvinding til drikkevandsforsyning, afgrænset. Et eksempel på dette er givet i Fyns Amt (2000) og Fyns Amt (2003).

Da de *overfladenære* grundvandsmagasiner ikke er relevante for drikkevandsforsyning på grund af forurening fra overfladen, er de oftest ikke kortlagt i amterne. I forbindelse med implementeringen af Vandrammedirektivet er det imidlertid meget væsentligt også at kortlægge disse, da det er disse magasiner, der hovedsageligt bidrager med oxideret, nitratholdigt (og eventuelt pesticidholdigt) grundvand til de afhængige overfladevandområder og vådområder (tabel 1.1 og figur 1.1). Udgør udstrømningen fra disse overfladenære grundvandsforekomster et kvalitativt problem for overfladevandet nedstrøms grundvandsforekomsten eller for de tilknyttede vådområder (figur 1.1), har grundvandsforekomsten ikke *god kemisk tilstand*, der skal opnås inden 2015 (jævnfør kapitel 1 og Miljøstyrelsen, 2004).

Overfladenære magasiner, der grænser op til ådale, *kortlægges ud fra jordartskort (1:25.000)*. Kortet viser jordarterne i det snit terrænoverfladen skærer gennem de geologiske aflejringer. I ådalenes skrænter (eller helt op det nærmeste højdedrag) samt eventuelt i ådalens terrænoverflade kan beliggenheden af de overfladenære grundvandsmagasiner, der ofte består af smeltevandssand (DS) således kortlægges. Grundvandsmagasinerne kan dog også bestå af andre højpermeable jordarter (f.eks DG, TG, TS samt HS). Endvidere anvendes geologiske profiler baseret på boringer til afgrænsning af magasinernes rumlige udbredelse.

Udveksling mellem grundvandsmagasin og vandløb

Karakterisering af retning og omfang af udvekslingen mellem grundvandsmagasiner og vandløb bygger på følgende kortmateriale:

- Ækvipotentialkurvekort for dybereliggende magasiner.
- Kort over potentielle ud- og indstrømningsområder for dybereliggende magasiner.
- Kort over absolut og specifik baseflow afstrømning i vandløb.

Udstrømningområder for dybereliggende og overfladenære grundvandsmagasiner
Hydrauliske potentialer er oftest målt i de dybereliggende grundvandsmagasiner (primært trykniveau). Da det ikke er sikkert, at der er hydraulisk kontakt mellem de forskellige grundvandsmagasiner, bør de hydrauliske potentialer ideelt set kun relateres til det grundvandsmagasin, de er målt i. Et samlet *ækvipotentialkurvekort* over hele vandløbsoplandet kan dog give et billede af det overordnede strømningsmønster i de dybereliggende magasiner, og dermed give indblik i udvekslingen mellem disse magasiner og overfladevandet.

Ækvipotentialkurver, der løber *parallelt* med et vandløb, er således indikatorer for, at der er en god hydraulisk kontakt mellem de dybereliggende, regionale grundvandsmagasiner og vandløbet. Disse vandløb, der ofte udgør hovedløbet af et vandløbssystem, er regionale udstrømningsområder for grundvand. Det er sandsynligt, at dette grundvand kommer fra reducerede magasiner, og derfor ikke indeholder nitrat. Dette er dog ikke altid tilfældet.

Modsat er ækvipotentialkurver, der løber *vinkelret* på et vandløb, indikatorer for en dårlig hydraulisk kontakt mellem de dybe grundvandsmagasiner og vandløbet. Disse vandløb, der ofte ligger i den øvre eller nedre ende af et vandløbssystem, kan derfor være lokale udstrømningsområder for mere overfladenære grundvandsmagasiner. Grundvandet, der strømmer ud til vandløbene fra disse magasiner, kan enten være reduceret eller oxideret afhængigt af, om vandet har krydset redoxgrænsen eller ej.

Potentielle ud- og indstrømningsområder for dybereliggende magasiner
Udstrømningsområder er defineret ved opadrettet grundvandsstrømning. Dvs de findes, hvor det primære trykniveau ligger højere end det frie grundvandsspejl.
Indstrømningsområder er tilsvarende defineret ved nedadrettet strømning. Dvs de findes, hvor det primære trykniveau ligger under det frie grundvandsspejl.

Da der ikke findes så mange data for det frie grundvandsspejls beliggenhed, kan der konstrueres et *tilnærmet kort over potentielle ud- og indstrømningsområder*, der viser, hvor det primære trykniveau ligger i forhold til terrænniveauet. Hertil anvendes:

- Et ækvipotentialkurvekort for oplandet
- En højdemodel for oplandet.

I dele af de *potentielle udstrømningsområder* hersker der *artesiske forhold* i de dybereliggende grundvandsmagasiner. Her ligger trykniveauet over terræn. Artesiske forhold opstår i et grundvandsmagasin, når udstrømningen til overfladevandet ikke er tilstrækkeligt stor i forhold til grundvandsdannelsen til magasinet. Dette kan være forårsaget af lavpermeable hydrogeologiske enheder (dæklag) mellem grundvandsmagasinet og overfladevandet, eller af et for lille areal af udstrømningsområdet i forhold til den udstrømmende vandmængde (eventuelt forårsaget af en bred ådal med lille hældning). Artesiske forhold kan derfor være indikator for, at udstrømningen fra disse dybereliggende magasiner ikke er ret stor eller måske er helt fraværende, hvorved udstrømningsområdet faktisk er *inaktivt*. Artesiske forhold kan dog også være indikator for at udstrømningen fra magasinerne er stor og stabil, hvorved området er et *aktivt* udstrømningsområde. Hvilken situation, der er aktuel for en given strækning af ådalen, afgøres af den geologiske opbygning omkring ådalen og af den specifikke baseflow afstrømning i vandløbet.

I vådområder og enge i ådale ligger det frie grundvandsspejl på årsbasis oftest mellem terrænniveau og omkring 1 meter under terræn. Hvor det primære trykniveauet ligger over 1 meter under terræn vil der, som en tilnærmelse, derfor også være et potentielt udstrømningsområde for et dybereliggende grundvandsmagasin. Tilsvarende overvejelser, som nævnt ovenfor under de artesiske forhold, vil også gøre sig gældende i disse områder, omend ikke i så udtalt grad. Den geologiske opbygning omkring ådalen og den specifikke baseflow afstrømning i vandløbene vil derfor også her afsløre, hvor stor den aktuelle udstrømning er fra det dybereliggende grundvandsmagasin til vandløbet.

De vandløb og vådområder, der ligger i *potentielle indstrømningsområder* for de dybereliggende grundvandsmagasiner modtager deres grundvandstilstrømning fra overfladenære magasiner.

Absolut og specifik baseflow afstrømning i vandløb

Synkronmålinger af medianminimumafstrømning giver et billede af den rumlige fordelingen af den *faktiske* grundvandstilstrømning til vandløbene efter en lang tør

periode om sommeren, når drænvandstilstrømningen er ophørt. Medianminimum-afstrømning er korrigeret for spildevandsudledninger. Medianminimumafstrømning kan således anvendes som udtryk baseflow afstrømningen i vandløbene.

Det anbefales at anvende følgende to kort:

- Kort over absolut baseflow afstrømning (l/s)
- Kort over specifik baseflow afstrømning (l/s/km).

Kortet over den *absolutte* baseflow afstrømning giver overblik over størrelsesordenen af baseflow afstrømningen i vandløbene indenfor oplandet.

Kortet over den *specifikke* baseflow afstrømning udformes ved at ud- eller indstrømningen over en vandløbsstrækning divideres med strækningens *længde* (Dahl et al, 1998). De specifikke værdier anvendes herefter til at opdele vandløbene i:

- Strækninger med *indstrømning* af overfladevand til grundvand (negative værdier).
- Strækninger *uden kontakt* mellem grundvand og overfladevand (0 l/s/km).
- Strækninger med *udstrømning* af grundvand til overfladevand (positive værdier, der opdeles i flere intervaller, f.eks 0-5, 5-10, 10-15 o.s.v. l/s/km).

Dette kort giver et skøn over *retning og omfang af udvekslingen* mellem grundvand og overfladevand. Dette er en af arbejdsopgaverne under den videregående karakterisering af grundvandforekomsterne i basisanalysen, der gennemføres efter 2004 (jævnfør Vandrammedirektivet og Miljøstyrelsen, 2004).

5.4.4 Samlet konceptualisering og klassifikation af Ådalstype

En samlet hydrogeologisk konceptualisering af ovenstående forhold fører til en forståelse af udvekslingen mellem grundvandsmagasin og vandløb langs delstrækninger af ådalen.

På grundlag af denne forståelse kan den eller de Tilgrænsende Hydrogeologiske Enhed(er)s hydrauliske ledningsevne (høj- eller lavpermeabel), størrelse (lokal eller regional) samt placering (overfladenær eller dybereliggende) karakteriseres. Sammenholdt med ådalens geomorfologi klassificeres interaktionen mellem grundvand og overfladevand i ådalen ved valg af den *Ådalstype* fra figur 3.2 til 3.4 og tabel 3.1 til 3.3, der bedst beskriver den hydrogeologiske situation.

Til sidst kan *grundvandsmagasinerne* eller -forekomsterne tillige klassificeres ifølge typologien herfor angivet i tabel 1.1.

5.5 Metoder til klassifikation af Strømningsvariant

Metoderne, der anvendes til klassifikation af Strømningsvarianten, er både direkte og indirekte (indikatorer). En del af arbejdet kan udføres på kontoret, mens en anden del kræver feltrekognocering.

5.5.1 Geologi i Ådalsmagasinet

Ådalsmagasinets permeabilitetsforhold er af afgørende betydning for vandets naturlige strømningsveje gennem ådalen til vandløbet. Følgende datakilder kan

eventuelt anvendes ved vurdering af den geologiske opbygning og deraf følgende permeabilitetsforhold i Ådalsmagasinet:

- Geologiske data (Jupiter databasen ved GEUS).
- Database over boringer foretaget i forbindelse med okkerkortlægningen i lavbundsområder i Jylland (ved DJF).
- Boringer fra detailundersøgelser (f.eks VMP2 områder ved amterne)
- Geofysiske data (Gerda databasen ved GEUS).
- Håndboringer.

De forhold, der er væsentlige at vurdere, er *fordelingen af høj- og lavpermeable sedimenter* i Ådalsmagasinet samt *vandløbsbundens permeabilitet*, med henblik på at afgøre vandets foretrukne strømningsvej (Q_1 til Q_3). Det *organiske indhold* i Ådalsmagasinet (specielt i de højpermeable sedimenter, hvori vandet strømmer) skal endvidere vurderes. Der skelnes mellem, om der er mere eller mindre end 3 % organisk materiale i sedimentet (jævnfør afsnit 4.1.2).

5.5.2 Menneskelige indgreb

Hovedafvanding

Hovedafvanding udgøres af udretning, uddybning og eventuelt flytning af vandløbets leje.

En sammenligning af vandløbets forløb og beliggenhed på historiske og recente topografiske kort vil vise, hvor en hovedafvanding har fundet sted. Hertil anvendes målebordsblade (1:20.000) fra sidst i det 19. århundrede og de nyeste topografiske kort (1:25.000). Reference til materialet er givet ovenfor.

På Kort- og Matrikelstyrelsens hjemmeside findes en facilitet, der for samme kortudsnit viser begge ovennævnte kort 'ovenpå hinanden', således at man gradvist kan skifte mellem de to kort. Adressen er: www.kms.dk/kortpaanettet/index.htm. Her vælges 'Danmark før og nu'. Ved brug af denne facilitet er det desuden nemt også at se ændringer i vådområdernes udbredelse.

Detailafvanding

Detailafvanding af jorde foretages ved hjælp af grøfter og drænrør. Følgende datakilder foreslås anvendt:

- Grøfter (GIS tema i TOP10DK ved KMS).
- Dræn (drænplaner fra DDH; GOI feltmetode, der udføres i oktober/november eller marts/april, hvor drænummønder i ådalsskrænten og vandløbsbrinken kortlægges).

Grøftnings- og drændensiteten i ådalene beskrives som høj for afstande mindre end 100 m, middel for afstande mellem 100 og 250 m, og lav for afstande over 250 m.

5.5.3 Indikatorer for strømningsveje

Diffus strømning gennem Ådalsmagasinet (Q_1)

- Tør eng (kortlægges ud fra ortofoto og ved feltrekognocering).
- AIS engsignatur.
- Højpermeable sedimenter i Ådalsmagasin.
- Stort forhold mellem bredden af ådalens våde engzone og vandløbets effektive bredde (Langhoff et al (submitted) - se nedenfor).

Overfladisk strømning (Q_2)

- Våd eng (men det må ikke være stagnant vand) (kortlægges ud fra ortofoto og ved feltrekognocering).
- AIS signatur for vådområde og mose.
- Lavpermeable sedimenter i Ådalsmagasin.

Direkte strømning fra tilgrænsende hydrogeologisk enhed til vandløbsbund (Q_3)

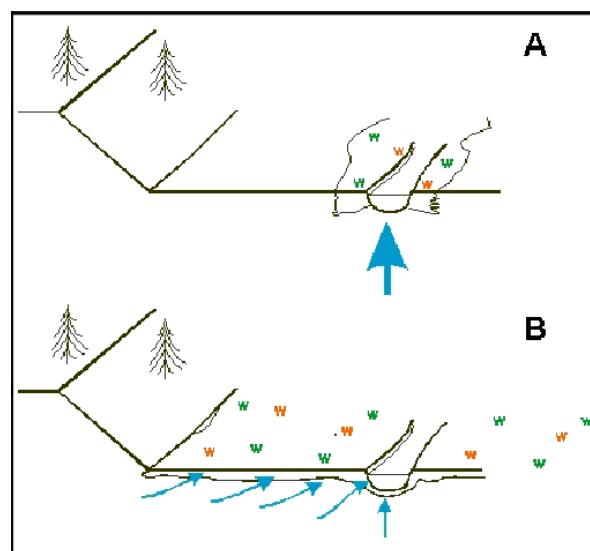
- Tør terrænoverflade (kortlægges ud fra ortofoto og ved feltrekognocering).
- Højpermeabel vandløbsbund.
- Vandløbsbundens sedimenttype svarer til den Tilgrænsende Hydrogeologiske Enheds sedimenttype.
- Lille forhold mellem bredden af ådalens våde engzone og vandløbets effektive bredde (Langhoff et al (submitted) se nedenfor).
- Eventuelt forholdsvis lige og dybt forløb af vandløb (forårsaget af hovedafvanding).
- Ådalsmagasin ikke udviklet.

Strømning i dræn og grøfter i ådalen (Q_4)

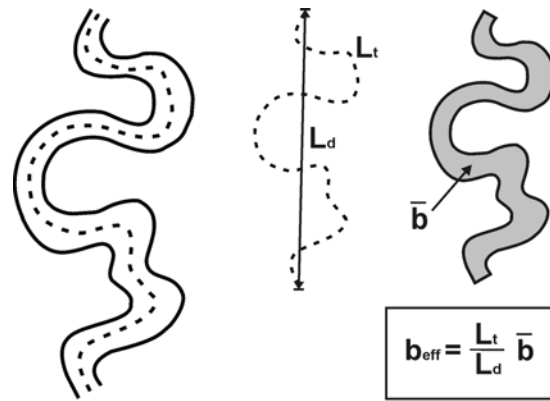
- Grøfter i ådalen (GIS tema i TOP10DK ved KMS)
- Drænrørsudmundinger i vandløbsbrink (DDH drænplaner og feltrekognocering).

Forhold mellem bredden af ådalens våde engzone og vandløbets effektive bredde.

På Karup Hedeslette (smeltevandsslette) har hidtidige studier vist, at forholdet mellem bredden af ådalens våde engzone og vandløbets effektive bredde, kan anvendes som indikator for størrelsen af grundvandsstilstrømningen direkte gennem vandløbsbunden (Langhoff et al, submitted). Når forholdet er lille er strømmingen gennem vandløbsbunden stor (figur 5.1.A). Er forholdet stort, foregår grundvandsudstrømningen diffust gennem Ådalsmagasinet (figur 5.1.B).



Figur 5.1. A. Stor grundvandsudstrømning gennem vandløbsbunden og en relativt smal våd engzone. B. Lille grundvandsudstrømning gennem vandløbsbunden og en relativt bred våd engzone. Figur fra Langhoff et al (2002).



Figur 5.2. Vandløbets effektive bredde (b_{eff}) som funktion slyngningsgraden og vandløbets middel bredde (\bar{b}). Slyngningsgraden er her defineret som forholdet mellem længden af thalweg (L_t) og den korteste distance mellem endepunkterne (L_d) (Brice, 1967).

I den forbindelse anses vandløbets effektive bredde (figur 5.2) at være vandløbsbredden multipliceret med slyngningsgraden (sinuositeten), mens bredden af den våde engzone angives ved bredden af den zone, hvor der forekommer tørveaflejninger langs vandløbet.

Ortofotos kan anvendes til at bestemme grænsen mellem Ådalsmagasinet (gule nuancer, maj-juli 1999) og oplandet (grønne nuancer, maj-juli 1999). Ud fra ortofotos kan man ikke opløse fugtigheden indenfor den ripariske zone, og sumpede områder kan derfor kun kortlægges ved feltrekognoscering (Langhoff, in prep).

5.5.4 Samlet konceptualisering og klassifikation af Strømningsvariant

Når fordelingen mellem strømningsvejene er vurderet, klassificeres ådalen på grundlag af den *dominerende* strømningsvej som en af Strømningsvarianterne beskrevet i afsnit 4.4, og ådalens *begrænsende indvirkning på nitrattilførslen* til overfladevandet vurderes ifølge afsnit 4.5.

5.6 Sammenfatning

I kapitel 5 er metoder, der anvendes ved klassifikation af interaktionen mellem grundvand og overfladevand i ådale ifølge GOI typologien, gennemgået. Først er en samlet nøgle for hele typologien præsenteret. Herefter er metoder og data gennemgået for alle tre niveauer i typologien: Landskabstype, Ådalstype og Strømningsvariant. Der gives henvisning til, hvor relevante data kan findes. Endelig gives der også anbefalinger til, hvilke GIS korttyper det er formålstjenligt at konstruere og anvende i de konceptuelle analyser, der foretages på forskellige niveauer i typologien.

6 Typologi og parametre på velkendte ådalslokaliteter

6.1 Indledning

Indledningsvist er litteraturen gennemgået for typiske værdier for hydrauliske parametre, der er nødvendige at kende for at kvantificere grundvandstilstrømningen til overfladevand ved hjælp af numeriske modeller.

Herefter klassificeres velkendte ådalslokaliteter, hvori der er udført detailstudier, ifølge GOI typologien. Lokaliteterne er fordelt på morænelandskab og smeltevandsslette.

Derefter sammenstilles resultaterne fra de velkendte ådalslokaliteter for at identificere typiske empiriske størrelser for geometriske, hydrauliske og nitratreduktionsmæssige parametre for Ådalstyper og Strømningsvarianter.

Til sidst evalueres metoden og datagrundlagets tilgængelighed under praktisk anvendelse af GOI typologien i ådale, der er mindre velkendte.

6.2 Hydrauliske parametre ud fra litteraturen

I Nilsson et al (2003) er der foretaget et litteraturstudie med henblik på at bestemme de ånære aflejrings indflydelse på udvekslingen mellem grundvand og overfladevand. De væsentligste parametre er hydraulisk ledningsevne, porøsitet, effektiv porøsitet, magasincoeffcient og lækagecoeffcient. Definition og nærmere beskrivelse af disse er gennemgået i Nilsson et al (2003). Her er der tillige for forskellige sedimenttyper angivet intervaller fra litteraturen for parametrene.

6.2.1 Hydraulisk ledningsevne

Den hydrauliske ledningsevne er udtryk for, hvor let vand strømmer gennem et porøst materiale. Den hydrauliske ledningsevne afhænger af porestørrelsesfordelingen, der atter afhænger af den geologiske sammensætning af sedimentet.

Jorden betegnes *minerogen*, når $> 50\%$ består af minerogent materiale, der ikke er afsat under stillestående vand. Jorden betegnes *organisk*, når $> 50\%$ består af organisk materiale. Jorden betegnes *tørv*, når mere end 50% af det organiske materiale består af planterester, der kun undtagelsesvist har været vanddækkede. Jorden betegnes *limnisk* (gytje), når mere end 50% af det organiske og / eller minerogene materiale består af materiale afsat under stillestående vand. De limniske sedimenter er typisk afsat i søer og fjorde, og indeholder alger, diatomeerester, planterester og finkornet minerogent materiale (Vedby, 1984).

De minerogene sedimenter opdeles efter kornstørrelsen, mens de organiske sedimenter opdeles i tørv og limnisk materiale. Tørven opdeles yderligere efter omsætningsgrad, da denne har stor betydning for tørvens hydrauliske egenskaber.

Tørvens *omsætningsgrad* vurderes på grundlag af fiberindholdet ($< 0,1$ mm). Tørven opdeles i svagt humificeret ($> 2/3$ fibre), moderat humificeret ($1/3 - 2/3$ fibre) og stærkt humificeret ($< 1/3$ fibre). Det er endvidere væsentligt at vurdere tørvetyper ud fra hvilket *plantensamfund* (vådområdetype), der har givet ophav til tørven. Der bør således især skelnes mellem *højmosetørv* (spagnum) og *lavmosetørv* (urter, siv, evt med træindhold), idet de hydrauliske egenskaber for disse varierer en del, dels på grund af fibrenes struktur, dels på grund af indholdet af minerogent materiale, der er minimalt i højmosetørv, mens det kan være væsentligt i lavmosetørv.

Tabel 6.1 angiver typiske værdier for hydraulisk ledningsevne for forskellige sedimenttyper. Værdierne for de minerogene materialer er angivet ud fra Freeze og Cherry (1979), Jensen og Jensen (2001) samt litteraturgennemgangen i Nilsson et al (2003). Værdierne for det limnisk materiale er angivet ud fra Vedby (1984), mens værdierne for tørven er sammenstillet ud fra Boelter (1965 og 1969), Päivänen (1973), Vedby (1984), Dahl (1990 og 1995) samt Christensen og Jensen (1999). Værdierne for tørv repræsenterer lavmosetørv, der sædvanligvis træffes i ådalene.

Ud fra tabellen ses, at de organiske sedimenttyper samlet set næsten dækker et ligeså stort interval som de minerogene. Kun ler har hydrauliske ledningsevner mindre end de organiske sedimenter.

Ved *blandede sedimenter* vurderes jordens primære og sekundære bestanddele. Generelt vil et sekundært indhold af limnisk materiale og finkornet minerogent materiale reducere jordens hydrauliske ledningsevne, mens et sekundært indhold af groft organisk materiale (vedstykker) samt sand og grus øge jordens hydrauliske ledningsevne.

Tabel 6.1. Typiske værdier for hydraulisk ledningsevne, porøsitet og effektiv porøsitet for forskellige sedimenttyper.

Sedimenttype	Hydraulisk ledningsevne (m/s)	Porøsitet (%)	Effektiv porøsitet (%)
Grus	$10^{-2} - 1$	30 - 40	30 - 35
Grovkornet sand	$10^{-3} - 10^{-2}$	25 - 30	25 - 30
Mellemkornet sand	$10^{-4} - 10^{-3}$	30 - 40	20 - 25
Finkornet sand	$10^{-6} - 10^{-4}$	40 - 50	15 - 20
Silt	$10^{-9} - 10^{-5}$	35 - 50	10 - 15
Ler	$10^{-12} - 10^{-9}$	40 - 70	5 - 10
Limnisk materiale (Gytje)	$10^{-8} - 10^{-6}$	80 - 90	20 - 30
Svagt humificeret tørv	$10^{-5} - 10^{-2}$	90 - 98	40 - 90
Moderat humificeret tørv	$10^{-7} - 10^{-5}$	85 - 90	15 - 40
Stærkt humificeret tørv	$10^{-8} - 10^{-7}$	60 - 85	10 - 15

6.2.2 Effektiv porøsitet

Den effektive porøsitet defineres som forholdet mellem effektivt porevolumen (det porevolumen, der deltager aktivt i strømmingen), og totalt porevolumen. Det konkluderes i Nilsson et al (2003), at den effektive porøsitet forventes at være af samme størrelse som magasin-koefficienten. Den effektive porøsitet kan således vurderes ud fra retentionskurver som forskellen mellem vandindholdet ved mætning (porøsitet) og vandindholdet efter afdræning til markkapacitet (svarende til 1 m vandsøjle). Værdier for limnisk materiale og tørv er målt af Vedby (1984), værdierne for minerogent materiale er angivet i Jensen og Jensen (2001).

Ved *blandede sedimenter* vurderes også her jordens primære og sekundære bestanddele. Generelt vil et sekundært indhold af limnisk og finkornet minerogent materiale mindske tørvs effektive porøsitet, mens et organisk indhold i minerogene sedimenter vil øge sedimentets effektive porøsitet.

6.2.3 Lækagekoefficient

Lækagekoefficienten (K / D) er defineret som forholdet mellem et lags vertikale hydrauliske ledningsevne (K) og tykkelsen af laget (D). Den er udtryk for modstanden mod strømning mellem to vandførende 'lag' (for eksempel mellem den Tilgrænsende Hydrogeologiske Enhed og vandløbet). Lækagekoefficienten anvendes i modelmæssig sammenhæng og er skalaafhængig.

Det foreslås i Nilsson et al (2003) at estimere to lækagekoefficienter for ådalene, der kan anvendes afhængigt af, hvilken skala, der arbejdes i:

- Den ene lækagekoefficient, $L_1 = K_1 / D_1$, korresponderer med strømningsvej Q_1 , der foregår diffust gennem *Ådalsmagasinet*. Ådalsmagasinet kan både omfatte minerogene og organiske aflejringer. K_1 er en hydraulisk ledningsevne, der repræsenterer hele Ådalsmagasinet. D_1 er den gennemsnitlige tykkelse af Ådalsmagasinet.
- Den anden lækagekoefficient, $L_3 = K_3 / D_3$, korresponderer med strømningsvej Q_3 . Dvs den estimeres for *zonen umiddelbart under vandløbsbunden* i situationer, hvor vandløbet har direkte kontakt med den Tilgrænsende Hydrogeologiske Enhed. Zonen defineres som en meter under den faste bund af vandløbet. K_3 er den hydrauliske ledningsevne af denne zone, der altså har en tykkelse (D_3) på 1 m.

6.3 Klassifikation af velkendte ådalslokaliteter i morænelandskab

I morænelandskaber er følgende velbeskrevne ådalslokaliteter behandlet: en lokalitet ved Stevns Å (Præstemarken ved Hellested) (bilag A), samt fem lokaliteter ved Gjern Å (Anbæk, Mølgårde, Gelbæk, Søbyvad og Smingevad) (bilag B). Desuden skal nævnes dele af Storå, der er indgående beskrevet i kapitel 8 og sat på tabelform i bilag G.

6.3.1 Stevns Å

Beskrivelse

Lokaliteten, Hellested Præstemark, er beliggende i Stevns ådal, der er nederoderet i et morænelandskab med lille relief. Ådalen er ifølge Smed (1981) en ekstramarginal smeltevandsdal. Arealanvendelsen i oplandet er primært landbrug. Det øverste lerede morænelag har en tykkelse fra få til over 50 m, med en tykkelse på 10-15 meter op til lokaliteten i Stevns ådal. Morænelaget er detailafvandet med drænrør. Under tillen består undergrunden af Danien bryozokalk. Ådalens tilgrænsende grundvandsmagasin består af de øverste 15-20 m af kalken, der er opsprækket, højermeabel og artesisk. Trykniveauet i dette magasin står således i ådalen over terrænniveau. Grundvandet strømmer stort set vinkelret mod ådalen, hvilket tyder på en god kontakt mellem grundvandet og vandløbet. Ådalen er således hovedudstrømningsområde for dette regionale grundvandsmagasin.

Ådalen er ca 250 m bred. Ådalen er nedskåret ca 25 m i det omgivende terræn, helt ned i Danienskalken. Herefter er den opfyldt med op til 8 m sediment, der udgør

Ådalsmagasinet. Nederst heri ligger 3-4 m smeltevandssand og -grus. Herover følger tørveaflejringer på 0,5 til 5,5 m's tykkelse, der i overgangslaget på ca 2 m fra smeltevandssandet til tørven indeholder en del limnisk materiale. Tørven indeholder vekslende lag af forskellig omsætningsgrad og øverst indeholder den atter limnisk materiale. Terrænkoten er idag 2 m DNN.

Stevns Å løber midt i ådalen i tørveaflejringerne. Åen blev hovedafvandet midt i 1900 tallet. På målebordsbladet fra 1909 ses vandløbets meget lidt slyngede leje midt i ådalen, stort set oveni det nuværende udrettede vandløb. Vandløbet har på daværende tidspunkt efter al sandsynlighed også da haft sit leje i tørven.

Den undersøgte engparcel på Præstemarken, hvis hydrologi er detaljeret beskrevet af Dahl (1990), er ikke detailafvandet. Engparcellen anvendtes under normale forhold til græsning og høslet. På naboparcellen udmundede et drænrør fra oplandet i ådalsskrænten. Drænvandet, der løb i vintermånederne, infiltrerede ned i Ådalsmagasinet på vej mod vandløbet. På den modsatte side af Stevns Å var de tidligere enge detailafvandet og taget ind i landbrugsmæssig omdrift. Vandløbet har et ringe fald, og engene blev om vinteren flere gange oversvømmet fra vandløbet efter større nedbørstilfælde efter frosten satte ind og under tøbruddet i foråret.

Klassifikation ifølge GOI typologi

- Landskabstypen er *morænelandskab*.
- Den Tilgrænsende Hydrogeologiske Enhed består af et *regionalt, højpermeabelt grundvandsmagasin*.

Ådalen er dybt nedskåret, forholdsvis bred, og har et relativt stort relief.

Kontakten mellem det tilgrænsende grundvandsmagasin og Ådalsmagasinet er god. Der er dog en relativt lille grundvandstilstrømning og ådalen oversvømmes fra vandløbet om vinteren. Ådalen har et ustabil strømningsmønster i løbet af året.

Ådalen klassificeres som en *Ådalstype 5*.

- Der er foretaget en hovedafvanding af vandløbet, men da vandløbslejet stadig ligger i Ådalsmagasinet og udretningen og uddybning er af mindre omfang, vurderes hovedafvandingen at have mindre betydning for fordelingen af strømningsveje.

På den centrale parcel er der således ingen direkte tilstrømning til vandløbet, der ikke kommer i kontakt med Ådalsmagasinets organiske aflejringer (Q_3). Der er heller ingen overfladisk afstrømning, der ikke infiltrerer ned i Ådalsmagasinet (Q_2). Da den centrale parcel ikke er detailafvandet, er der heller ingen afstrømning i dræn og grøfter (Q_4). Derimod løber hele grundvandstilstrømningen diffust gennem Ådalsmagasinet (Q_1) på vej mod vandløbet. *Strømningsfordelingen* mellem Q_1 , Q_2 , Q_3 og Q_4 er således 100, 0, 0 og 0 %.

Den centrale parcel klassificeres derfor som en *Diffus Strømningsvariant*.

De menneskelige påvirkninger er dog væsentligt større på de tilgrænsende parceller. På den parcel, der modtager drænudløb fra oplandet i ådalsskrænten, infiltrerer vandet ned i Ådalsmagasinet og strømmer herefter gennem Ådalsmagasinet til vandløbet (Q_1). Denne parcel klassificeres derfor ligeledes som en *Diffus Strømningsvariant*.

Den parcel, der er detailafvandet i selve ådalen, klassificeres imidlertid som en *Detailafvandet Strømningsvariant*.

Hydraulisk ledningsevne

På den centrale parcel er der målt hydrauliske ledningsevner ved hjælp af slugtest 12 steder i Ådalsmagasinet fordelt på forskellige materialetyper. For tørveaflejringerne varierer disse mellem mellem 4×10^{-7} og 4×10^{-5} m/s. For finsandet under tørven er der målinger mellem 8×10^{-6} og 2×10^{-5} m/s (Dahl, 1990). Udfra disse data og de geologiske profilbeskrivelser vurderes både vandløbsbunden (1 meter under vandløbet) og Ådalsmagasinet at have en hydraulisk ledningsevne på 10^{-7} til 10^{-5} m/s.

Porøsitet og effektiv porøsitet er bestemt på knap 40 ringprøver fra den øverste meter på grundlag af retentionskurver (Dahl, 1990). Porøsiteten for disse moderat til stærkt humificerede tørveaflejringer varierer mellem 75 og 85 %. Den effektive porøsitet er estimeret som forskellen mellem vandindholdet ved mætning og efter afdræning til markkapacitet (1 m vandsøjle). Den vurderes for åbunden at være 10-20 %, og for Ådalsmagasinet omkring 25 %.

Lækagekoefficienten for vandløbsbunden (1 m under bunden) bliver da 10^{-7} - 10^{-5} s^{-1} . For Ådalsmagasinet som helhed varierer lækagekoefficienten mellem 5×10^{-8} og 3×10^{-6} s^{-1} .

Geometriske parametre

De geometriske forhold for vandløb og Ådalsmagasin er opregnet i bilag A.

Opholdstid

Det er således kun for Q_1 at *opholdstiden i Ådalsmagasinet*, T_1 , skal vurderes. På grundlag af en vandbalance opstillet for Præstemarken er det estimeret, at grundvandstilstrømningen udgør $645 \text{ m}^3/\text{år}$. Ådalsmagasinet rummer ca 4000 m^3 vand. Antages (udfra den effektive porøsitet) at kun ca 75 % af porevoluminet deltager i strømningen, udgør det effektive porevolumen 3000 m^3 . Opholdstiden i Ådalsmagasinet, T_1 er derfor ca 4,6 år, svarende til ca 1700 døgn.

Nitratreduktion

På grundlag af ovenstående strømningsfordeling og et organisk indhold i Ådalsmagasinet på $> 3 \%$ vurderes den centrale parcel på Præstemarken ved Hellested at have en nitratreduktion nær 100 %. Dette stemmer overens med resultater estimeret ved vand- og stofbalance beregninger for engen (Hoffmann et al, 1993). Den absolutte tilbageholdelse af nitrat, der tilføres med grundvandet, blev estimeret til 32 kg N/ha/år , svarende til 97 %.

Nitratreduktionen på engen er primært styret (og begrænset) af hydrologiske og geologiske forhold. Under naturlige forhold finder den sted på overgangen fra mineralske til organiske aflejringer, hvor grundvandet strømmede op i tørven. Målte denitrifikationsrater indikerer, at en større grundvandstilstrømning med nitratholdigt vand, også vil øge nitratreduktionen, idet denitrifikationspotentialet er betydeligt større end den faktiske denitrifikation. Dette understøttes desuden af resultater fra et overrislingsforsøg med åvand på engen, der viser en 30 gange større nitratreduktion, der finder sted indenfor de øverste 2 cm af tørven. Her er det primært tørvens infiltrationskapacitet, der er begrænsende for nitratreduktionen (Hoffmann et al, 1993).

Ådalens begrænsende indvirkning på nitrattilførsel til overfladevand
Ud fra ovenstående må de parceller, der er betegnet som *Diffus Strømningsvariant* klassificeres som *aktivt nitratbegrænsende*, selvom den absolutte nitratreduktion / indvirkning er i den lave ende. Disse parceller har dog mulighed for en øget nitratreduktion, da den er begrænset af tilstrømningen af nitratholdigt grundvand.

Parcellen klassificeret som *Detailafvandet Strømningsvariant* har sandsynligvis en omsætningsprocent nær 0. Den må derfor klassificeres som *potentielt nitratbegrænsende*, hvis drænene fra oplandet afbrydes i ådalsskrænten og detailafvandingen i selve ådalen inaktiveres.

6.3.2 Gjern Å

Fem delstrækninger langs Gjern Å (Anbæk, Mølgårde, Gelbæk, Søbyvad og Smingevad) er klassificeret i kapitel 7. Disse delstrækninger er så vidt data eksisterer parametersat i bilag B. I Nilsson et al (2003, bilag 4) findes supplerende oplysninger om Gjern Å lokaliteterne fra en georadarundersøgelse fra flere af lokaliteterne.

6.4 Klassifikation af velkendte ådalslokaliteter på smeltevandsslette

På smeltevandssletten er følgende velbeskrevne ådalslokaliteter behandlet: fire lokaliteter ved Rabis Bæk (felt 1-4) (bilag C), to lokaliteter ved Karup Å (Skygge og Hagebro) (bilag D), fire lokaliteter ved Haller Å (Ravnholt, Sangildgård, Stordal og Vallerbækvej) (bilag E), samt tre lokaliteter ved Storå (Gludsted Plantage, Lille Yllebjerg og Navr Hede) (bilag F).

6.4.1 Rabis Bæk

Beskrivelse

Oplandet til Rabis Bæk er beliggende på Karup Hedeslette umiddelbart nord for Haller Å (som er beskrevet i Nilsson et al, 2003). Ådalens tilgrænsende grundvandsmagasin har frit vandspejl i hele Rabis Bæk området, bortset fra under ådalen, hvor Ådalsmagasinet består af lavpermeable gytje- og tørveaflejringer. Der findes ikke større sammenhængende lerlag indlejret i de kvartære lag.

Rabis Bæk afdræner en del af Karup Å's opland (16 km²) og grundvandet strømmer stort set parallelt med bækken i hovedparten af dennes opland, hvilket tyder på en overvejende dårlig kontakt mellem det regionale grundvandsmagasin og Rabis Bæk. Hovedudstrømningsområdet for grundvandsmagasinet er således selve Karup Å. Bækkens vandføring er dog meget stabil sommer som vinter, hvilket tyder på, at tilførslen af grundvand til bækken sker fra et regionalt tilgrænsende grundvandsmagasin med høj ydeevne.

Rabis Bæk løber i en 100 – 150 meter bred erosionsdal, der munder ud i Karup Å. Ådalens terrænoverflade ligger ved bækkens udspringsområde ca. 15 meter under den omgivende smeltevandsslettes overflade, mens ådalens skrænter kun er nogle få meter høje nede ved udløbet til Karup Å. Dvs at ådalens relief er fra lille til moderat langs Rabis Bæk.

I den øvre del af Rabis Bæk ådalen er der efter sidste istid dannet 1-4 meter organiske sedimenter, der udgør Ådalsmagasinet. Disse aflejringer, der består af tørve og gytje er lavpermeable. Grundvandets trykniveau er således over engens overflade (ca. 1,5 m over bækkens vandspejl). Dette medfører at grundvandet strømmer ud ved ådalens skræntfod og i kilder ved gennembrud af den

lavpermeable tørv længere ude i engen. Herfra strømmer vandet overfladisk af til bækken (Q_2). Bækken løber centralt i Ådalsmagasinet og har eroderet sig ca. 1 meter ned i engfladen. Bækken underlejres typisk af 0,5-1 meter tykke lag af gytjeholdigt grus og sand.

Detaljerede feltundersøgelser er udført fire steder på engarealer langs den øvre del af Rabis Bæk (Brüsch, 1987; Brüsch og Nilsson, 1993). Engfladen langs den øvre vandløbsstrækning er i gammel tid blevet brugt til tørveskæring. Den er desuden sine steder detailafvandet med grøfter langs med skræntfoden og andre steder tværs over engfladen fra skræntfoden til vandløbet. Rabis Bæk har ikke undergået betydelig hovedafvanding ved regulering af vandløbet. Dog er en delstrømning lokalt blevet ført gennem damme til ørredopdræt.

Klassifikation ifølge GOI typologi

- Landskabstypen er *smeltevandslette*.
- Det tilgrænsende grundvandsmagasin er *regionalt og højpermeabelt*.

Ådalen er nederoderet i smeltevandssletten fra få meter – ca. 15 meter, det vil sige med lille til moderat relief. Kontakten mellem grundvandsmagasinet og Rabis Bæk er dårlig. Strømningsmønsteret i ådalen er relativt stabilt i løbet af året. Ådalen klassificeres som en *Ådalstype 7*.

- Der forekommer kun meget begrænset detailafvanding ved grøftning langs med og tværs over engfladen på de fire undersøgte engarealer. Den undersøgte del af det øvre vandløb anses derfor at være *ganske lidt påvirket af menneskelig aktivitet*. Dog forekommer betydelige omlægninger af vandløbet lokalt midtvejs mellem udspring og udløb i Karup Å, hvor omfattende ørredopdræt finder sted.

Grundvandstilstrømningen til Rabis Bæk er mindre i den nederste delstrækning end i den øvre del (Hansen, 1986). Afstrømningsmålinger viser, at vandføringen i bækken er meget stabil, f.eks. varierer den gennemsnitlige middelmånedsværdi i 1974 fra 0,202 m³/s i januar til 0,141 m³/s i juni, for at stige til 0,221 m³/s i december.

Feltundersøgelser (Felt 1 med et areal på 1600 m²) langs den øvre delstrækning viser, at trykniveauet står over engfladen. På grundlag af overslagsberegninger er grundvandsudstrømningen til overfladen (Q_2) bestemt til at variere mellem 0 og 65 l/time over året (gennemsnit 35 l/time) eller svarende til ca. 5 % af den totale grundvandstilstrømning til vandløbet. *Strømningsfordelingen* mellem Q_1 , Q_2 , Q_3 og Q_4 anslås således som 90-95 %, 5 %, 1-2 % og 1-5 %.

Ådalen karakteriseres derfor som en *Diffus Strømningsvariant*.

Hydraulisk ledningsevne

Der er målt hydraulisk ledningsevne ved hjælp af slug tests på flere korte filtre i tørvten på undersøgelsesfelt 1. Desuden er målt hydraulisk ledningsevne med udstrømningsmåler (seepage meter) flere steder på engfladen, i kildevæld og i bækbunden. Den hydrauliske ledningsevne er bestemt til $0,9 \times 10^{-7}$ – $0,9 \times 10^{-6}$ m/s på engfladen.

Porøsitet og effektiv porøsitet er ikke målt i forbindelse med feltundersøgelserne ved Rabis Bæk men kan ud fra de sedimentologiske beskrivelser skønnes til at være mellem 10 og 40 %.

Lækagekoefficienten for vandløbsbunden (L_3) bliver da $3 \times 10^{-8} - 1 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$. For Ådalsmagasinet som helhed (L_1) varierer mellem $3 \times 10^{-8} - 4,5 \times 10^{-7} \text{ s}^{-1}$.

Geometriske parametre

Ådalens geometriske forhold er angivet i bilag C.

Nitratreduktion

Udfra klassifikationen af Strømningsvarianten forventes ådalen af have en nitratreduktion på omkring 50 %. På baggrund af to års monitoring af nitratretentionen i et 15-25 meter bredt engareal (Felt 1) kunne den årgennemsnitlige nitratreduktion opgøres til 400 kg N/ha/år, dog med en betydelig årstidsvariation. Dette svarer til en nitratreduktion på ca. 56 % af nitratindholdet i det grundvand (Q_2) der siver ud i skræntfoden (Brüsch og Nilsson, 1993). Den ret så betydelige diffuse strømning, der foregår gennem Ådalsmagasinet under vandløbsbunden (Q_1), er ikke bestemt i ovennævnte undersøgelse. Det er derfor tænkeligt at den totale nitratreduktion i ådalen ved Rabis Bæk må forventes at være noget større end den angivne nitratreduktion på 200-600 kg N/ha/år.

Ådalens begrænsende indvirkning på nitrattilførsel til overfladevand

Rabis Bæk er således *aktivt nitratbegrænsende*.

6.4.2 Karup Å

Oplandet til Karup Å er beliggende på Karup Hedeslette. Den hydrologiske sommersituation blev undersøgt på to feltlokaliteter ved Karup Å. Den ene lokalitet er beliggende opstrøms Skygge og den anden opstrøms Hagebro.

For at kunne bestemme, hvordan grundvandet udsiver til vandløbet, er det nødvendigt at måle de enkelte strømningskomponenter og sammenligne disse med den totale tilvækst i vandføringen langs et givet vandløbsstræk. Ikke desto mindre beror nærværende undersøgelse udelukkende på måling af grundvand, der strømmer til vandløbet vertikalt gennem vandløbsbunden (Langhoff et al, in prep), samt synkrone vandføringsmålinger fra en sommer situation foretaget af Hedeselskabet. Feltlokaliteternes gennemgang tager derfor udgangspunkt i sommersituationen.

I bilag D er opsummeret de styrende parametre ved Karup Å lokaliteterne.

6.4.2.1 Skygge

Beskrivelse og parameterisering

Oplandet til Karup Å ved Skygge er beliggende på den sydlige del af Karup Hedeslette, nord for Bording Bakkeø. Ådalens tilgrænsende grundvandsmagasin vurderes at have en høj hydraulisk ledningsevne og bestå af vidt udstrakte smeltevandsaflejringer (DGU, basisdatakort). I de kvartære aflejringer findes der i flere borer in situ aflejret smeltevandsler, men det vurderes, at disse ikke er udbredt sammenhængende og ikke tilgrænser Ådalsmagasinet.

Ved Skygge afdræner Karup Å et 88 km² stort opland og grundvandet strømmer ifølge potentialkort til vandløbet (Miljøstyrelsen, 1983), hvilket tyder på en god hydraulisk kontakt til vandløbet. Vandløbet løber i en 70 – 120 m bred erosionsdal med et moderat relief til smeltevandssletten. Vandløbsbredden er relativt lille (op til 5 m) i forhold til dybden (1 – 1.5 m). Materialet i vandløbsbunden er domineret af mellemkornet sand ($K = 10^{-3} - 10^{-4} \text{ m/s}$, tabel 6.1). Lækagekoefficienten for vandløbsbunden (L_3) vurderes på baggrund af forsøg udført ved Haller Å til at variere indenfor intervallet $10^{-6} - 10^{-5} \text{ s}^{-1}$.

Overgangen fra engen til vandløbet er enkelte steder jævn, men det typiske er, at brinkhøjden er omkring 0.5 m. Engen omkring åen er beliggende på et Ådalsmagasin opbygget af vekslende lag af moderat humificeret tørv og mellemkornet sand (Langhoff et al, in prep.) med en skønnet intermediær ledningsevne ($K = 10^{-7} - 10^{-5}$ m/s). Tykkelsen af disse lag er ved spydkartering bestemt til ca. 1.5 m. Indenfor ådalens afgrænsning findes forskellige større områder, hvorfra vandet strømmer overfladisk til vandløbet. Strømningen til engoverfladen gennem Ådalsmagasinet vurderes at være diffus, hvilket medfører, at denne strømning klassificeres som Q_1 . Generelt er den overfladiske strømningsvej til åen for det diffust opsivende grundvand omkring 30 m, men i enkelte tilfælde, når afstanden helt op på 70 m. For alle udstrømningsområderne i engen af denne karakter gælder det, at det organiske indhold er over 3% (visuelt vurderet). Imidlertid er tykkelserne af Ådalsmagasinets organiske aflejringer som grundvandet strømmer gennem kun kendt i forhold til spydkartering. Tykkelsen vurderes derfor på baggrund af erfaringer gjort ved Haller Å, samt ud fra dimensionen af vandløbet og spydkartering, til at være mellem 1 og 2 m. Lækagekoefficienten for Ådalsmagasinet (L_1) anslås således at variere indenfor intervallet $5 \cdot 10^{-8}$ og $10^{-5} s^{-1}$.

Klassifikation ifølge GOI typologi

- Landskabstypen er *smeltevandsslette*.
- Typen af interaktion mellem grundvand og vandløb kan jævnfør ovenstående beskrivelse karakteriseres som værende af *Ådalstype 7* uden eller med begrænset menneskelig påvirkning.
- Strømningsveje i *sommersituationen* vurderes bl.a ud fra seepage meter undersøgelser foretaget af Langhoff et al. (in prep.). Resultaterne viser at 15% af grundvandet strømmer diffust til vandløbet gennem vandløbsbunden (Q_3). Med forbehold for udstrømning af grundvand horisontalt til vandløbet gennem brinkerne, vurderes de resterende 85% af grundvandet at strømme diffust til engoverfladen gennem tørveaflejringerne ($Q_{1 \text{ våd engzone}}$), hvorfra det overfladisk strømmer til vandløbet. På grundlag af dette klassificeres lokaliteten som en *Diffus Strømningsvariant*.

I *vintersituation* vil vandløbet, foruden det allerede beskrevne grundvandsbidrag, også modtage drænvand fra omkringliggende marker. Alle observerede dræn munder ud tæt ved skræntfoden og ikke i selve vandløbet. Vintersituationens procentvise fordeling af strømningsveje kan ikke vurderes ud fra det eksisterende datagrundlag. Lokaliteten vil i denne situation være delvist nitratbegrænsende, skønsvist 50-70%. Infiltrerer denne dræntilstrømning ned i Ådalsmagasinet vil strømningsvejen ligeledes være Q_1 , men infiltrerer den ikke, vil strømningsvejen være overfladisk (Q_2). Udfra ovenstående vil der nok være størst sandsynlighed for, at drænvandet ikke infiltrerer. Hvis Q_1 stadig dominerer en eventuel Q_2 , er Strømningsvarianten stadig *Diffus*. Er det modsatte tilfældet vil Strømningsvarianten være *Overfladisk*.

6.4.2.2 Hagebro

Beskrivelse og parameterisering

Karup Å ved Hagebro er beliggende på den nordlige del af Karup Hedeslette. Ådalens tilgrænsende grundvandsmagasin vurderes ligeledes at have en høj hydraulisk ledningsevne, og at findes i vidt udstrakte smeltevandsaflejringer (DGU, basisdatakort). Dog findes der i flere boreriger indenfor området in situ aflejret tertiært ler. Dybden til dette varierer, men i enkelte boreriger er det kun 10

m fra terræn. Det vurderes dog, at disse ikke er sammenhængende, men om det tertiære ler stedvist tilgrænser Ådalsmagasinet kan ikke vurderes på det eksisterende datagrundlag.

Ved Hagebro afdræner Karup Å et 518 km² stort opland. På strækningen strømmer grundvandet ifølge potentialekort til vandløbet (Miljøstryrelsen, 1983), hvilket tyder på en god hydraulisk kontakt til vandløbet. Åen løber ved Hagebro i en omkring 250 m bred ådal med stort relief til smeltevandssletten. Vandløbsbredden er relativt stor (op til 13 m) i forhold til dybden (1 – 1.5 m). Materialet i vandløbsbunden er domineret af mellemkornet sand ($K = 10^{-3} - 10^{-4}$ m/s, tabel 6.1). Stedvist er materialet fra brinkerose indlejret i vandløbsbunden (Langhoff et al., in prep.), men det har næppe nogen betydning for udstømningen. Lækagekoefficienten for vandløbsbunden (L_3) vurderes på baggrund af forsøg udført ved Haller Å at variere indenfor intervallet $10^{-6} - 10^{-5}$ s⁻¹.

Overgangen fra engen til vandløbet over brinkerne veksler mellem at være jævn og til at være omkring 0.5 m høj. Engen omkring åen er beliggende på et Ådalsmagasin bestående af vekslende lag af svagt humificeret tørv og mellemkornet sand (Langhoff et al., in prep.) med en høj ledningsevne ($K = 10^{-4} - 10^{-5}$ m/s). Tykkelsen af disse lag er ved spydkartering bestemt til over 2 m.

Indenfor engens afgrænsning findes forskellige udstømningsområder, hvorfra diffust tilstrømmende grundvand (Q_1) strømmer overfladisk eller via detailafvanding, i form af grøftning og dræn, til vandløbet. For alle udstømningsområderne i engen gælder det, at det organiske indhold er over 3%.

Imidlertid er omsætningsgraden og tykkelsen af de organiske aflejringer grundvandet strømmer gennem ukendte. De vurderes derfor på baggrund af erfaringer gjort ved Haller Å, samt ud fra dimensionen af vandløbet og spydkarteringen. Lækagekoefficienten for Ådalsmagasinet (L_1) anslås således at variere indenfor intervallet $2 \cdot 10^{-6} - 10^{-4}$ s⁻¹. Generelt er den overfladiske strømningsvej hen over engen for det diffust opsivende grundvand omkring 30 m, men i enkelte tilfælde, hvor der ikke er foretaget grøftning, kan afstanden nå helt op på 200 m. Udbredelsen af dræne er ikke kendt, men det vurderes, at drændensiteten er ligesom for grøftningen, det vil sige med en afstand mellem dræn/grøft på 100-250 m.

Klassifikation ifølge GOI typologi

- Landskabstypen er *smeltevandsslette*.
- Typen af interaktion mellem grundvand og vandløb kan jævnfør denne beskrivelse karakteriseres som værende en *Ådalstype 8 eller 9*.
- Ådalen har en markant menneskelig påvirkning i form af detailafvanding af engen. Afvandingen er sket både ved grøftning og dræning. De forskellige grundvandsbidrag til vandløbet vurderes bl.a. ud fra seepage meter undersøgelser foretaget af Langhoff et al. (in prep.) i en *sommersituation*. Resultaterne viser at 40% strømmer (diffust) til vandløbet gennem vandløbsbunden (Q_3), mens de resterende 60% forventeligt strømmer til engoverfladen gennem diffuse udstømningsområder (Q_1 våd engzone). På denne lokalitet er Strømningsvarianten således *Diffus*.

I *vintersituationen* vil vandløbet, foruden det allerede beskrevne grundvandsbidrag, også modtage drænvand fra omkringliggende marker. De fleste observerede dræn munder ud tæt ved skræntfoden, men enkelte i selve vandløbet. Vintersituations procentvise fordeling af strømningsveje kan ikke

vurderes ud fra det eksisterende datagrundlag, men det er sandsynligt, at både den overfladiske strømning (Q_2) og strømning i dræn og grøfter (Q_4) vil være aktive.

6.4.3 Haller Å

Fire lokaliteter der er indgående beskrevet i Nilsson et al. (2003) indgår i parametersætningen. Det omhandler lokaliteter ved Ravnholt, Sangildvej, Stordal og Vallerbækvej. Parametrene er angivet i bilag E.

6.4.4 Storå

Tre lokaliteter beskrevet indgående i denne rapport's kapitel 8 (Gludsted Plantage, Lille Yllebjerg og Nevr Hede) er behandlet på tabelform i bilag F.

6.5 Sammenfatning

I tabellerne 6.2 og 6.3 er opsummeret de styrende typiske parameterverdier med hensyn til geometri, hydrauliske forhold, strømningsveje, opholdstider og rater for nitratreduktion. Tabelverdierne er ligeledes vist fordelt på lokaliteter i bilag A til F. Dataene repræsenterer parameterverdier fra henholdsvis to lerede vandløbsoplande (Stevns Å og Gjern Å) samt fire sandede vandløbsoplande (Rabis Bæk, Karup Å, Haller Å og Storå). Samtlige fem Ådalstyper i morænelandskabet er repræsenteret, mens tre af fire Ådalstyper på smeltevandssletten er repræsenteret, hvor kun Ådalstype 6 mangler. I flere tilfælde er en Ådalstype repræsenteret ved parameterverdier fra en enkelt vandløbsstrækning, mens to Ådalstyper er repræsenteret med parametersæt fra tre eller flere vandløbsstrækninger. Af begge tabeller fremgår det, at parametersættene fra de seks vandløbsoplande generelt set er ukomplette. Der vurderes således ikke at være tilstrækkeligt statistisk grundlag for, at de viste parametersæt kan generalises.

Det skal specielt bemærkes at vurderingen af den procentuelle nitratreduktion knyttet til de enkelte strømningsveje (Q_1 - Q_4) for en stor del er kvalificerede gæt. Specielt er det blevet klart, at tidligere undersøgelser næsten alle mangler kvantitative bestemmelser af nitratreduktionen under vandløbsbunden (ofte benævnt $Q_{1 \text{ vandløbsbund}}$). Langt de fleste feltundersøgelser har fokuseret på nitratreduktionen i den overfladiske strømning (Q_2), i strømmingen i dræn og grøfter (Q_4), samt den del af den diffuse strømning Q_1 , som strømmer ud på engoverfladen og derfra fortsætter overfladisk til vandløbet (ofte benævnt $Q_{1 \text{ vådzone}}$).

Tabel 6.2 Opsummering af geometriske og hydrauliske parameterværdierne for seks danske ådalsprojekter (jalt 19 lokaliteter). Fed skrift er målte/beregnete værdier, normal skrift er vurderede værdier. Referencer til de i tabellen viste undersøgelser findes i bilag A til F.

Lokalitet	Ådalstype	Geometri af ådal og ådalsmagasin [m]				Hydraulisk ledningsevne [m/s]				Effektiv porøsitet [%]				Lægekoefficient [l/s]			
		vandleb		Relief		Tykkelse af ådalsmagasin		vandlebsbund		ådalsmagasin		vandlebsbund		ådalsmagasin		vandlebsbund	
		min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.
Glern Å	1	0,5	1	40	50	0,5	1	0	0,5	1,4E-4	4,3E-4	7	22	2,8 x E-4	8,6E-4		
Glern Å	2	1	3	75	100	0,5	15	0,5	2,5	2,4E-7	1,1E-4	5	16	4,8E-7	4,4E-5		
Glern Å	3					7,5	16										
Storå	3	0,5	0,5	200	800	0	1	0,1	0,5	1E-5	1E-4	1	20	2E-5	1E-3	2xE-4	1xE-2
Glern Å	4	1	2,5	25	50	5	7,5	2	3	1xE-8	1xE-4	10	90	3xE-9	5xE-5		
Stevns Å	5	2	4		250		25	0,5	5,5	4E-7	4E-5	25	25	5xE-8	3xE-6	1xE-7	1xE-5
Storå	5 og 7	10	17	400	700	2	5	1	3	1xE-5	1xE-4	1	20	3,30E-05	1xE-4	3,3xE-5	1xE-3
Rabis Beek	7	1	2	30	50	10	12	0,5	3	0,9E-7	0,9E-6	10	40	3xE-8	4,5E-7	3xE-8	1xE-4
Rabis Beek	7	1	2	40	45	12	15	0,5	2	1xE-8	1xE-7	10	40	5xE-9	2xE-7	3xE-8	1xE-4
Karup Å	7	4	4,5	30	70	1	3	1,5	1,5	1E-7	1E-5	1	20	5xE-8	1xE-5	1xE-6	1xE-5
Storå	7	10	14	200	300	1,5	4	1	3	1xE-5	1xE-4	1	20	3,30E-05	1xE-4	3,3xE-5	1xE-3
Haller Å	7	1	1,5	70	100	1	5	0,5	1,5	5xE-8	2xE-4	1	20	1xE-7	1xE-6	1,8xE-6	1,2xE-5
Haller Å	7	3	4	70	80	2	4	0,5	1,5	5xE-8	2xE-4	1	20	1xE-7	1xE-6	1xE-5	2xE-5
Haller Å	7	3	4	90	120	1	4	0,5	2	5xE-5	2xE-3	1	20	1xE-5	1xE-3	4xE-6	1xE-5
Rabis Beek	8	1	2	20	90	2	3	0,5	1	1xE-8	1xE-7	10	40	1xE-8	1xE-7	3xE-8	1xE-4
Rabis Beek	8	1	2	70	80	5	7	<0,5	3	1xE-8	1xE-7	10	40	3xE-9	5xE-8	3xE-8	1xE-4
Haller Å	8	0,5	4	150	200	0	1	0,5	3	5xE-6	3xE-3	1	40	1xE-5	1xE-3	5xE-5	7,9E-5
Karup Å	8/9	10	12	30	200	2	10	0	>2	1E-5	1E-4	1	20	2xE-6	1xE-4	1xE-6	1xE-5
Glern Å	9	2	4	250	400	0	0,5	1	7	6,1xE-8	1,7xE-5	8	24	6,1xE-8	2,4xE-6		

Tabel 6.3 Opsummering af parameterværdier for strømningfordeling og nitratreduktion på seks danske ådalslokaliteter. Fed skrift er målte/beregnete værdier, normal skrift er vurderede værdier. Referencer til de i tabellen viste undersøgelser findes i bilag A til F.

Lokalitet	Sted	Ådalstype	Afvanding		Strømningfordeling [%] og opholdstider [døgn]								Strømnings-variant	Organisk indhold [%]	Nitratomsætning (2)			
			Detail	Hoved	Q1	T1	Q2	T2	Q3	T3	Q4	T4			[%]	[kg NO ₃ -N/ha/år]		
Gjern Å	Anbæk	1	nej	nej	100		0		0		0		0		diffus	< 3	67	140
Gjern Å	Søbyvad	2	nej	ja	75		0		0		0		25		diffus		96	541
Gjern Å	Celbæk	3	ja	nej	0		25-50		0		50-75				detail-afvandet			
Storå	Gludsted Plantage	3	ja	ja	0		0		40		60				detail-afvandet	> 3	0	
Gjern Å	Mølgårde	4	nej	nej	90-100		0-10		0		0		0		diffus, overfladisk	> 3	97	1079-2100
Stevns Å	Hellested Præstemark	5	ja/nej	ja	100	1700	0		0		0		0		diffus	> 3	97	57
Storå	Navr Heide	5 og 7	ja	nej	60		5		20		15				diffus	< 3	Q1+Q2=10-97%	Q3+Q4=0%
Rabis Bæk	Felt 1	7	ja	nej	90-95	1-5	5	20(3-72)	1-2		1-5	20(3-72)			diffus	> 3	56	200-600
Rabis Bæk	Felt 2	7	ja	nej	80-90		5	20(3-72)	1-2		10-15				diffus	> 3	50-60	
Karup Å	Skygge	7	nej	nej	75	5-159	0		25		19-171	0			diffus	> 3	50-70	
Storå	Lille Yllebjerg	7	ja	nej	40		0		40		20				overvejende diffus	> 3	Q1=20-97%	Q3+Q4=0%
Haller Å	Ravnsholt	7	ja	ja	0		10	17-1042	90	1-7	0				direkte		Q1+Q4=0%	Q2=20-99%
Haller Å	Sangildgård	7	nej	nej	50-60	3-174	0-10	0-1042	40	1-16	0				diffus		Q3=0-10%	Q1=10-97%
Haller Å	Stordal	7	nej	nej	90	2-154	0		10	24-83	0				diffus		Q2=20-99%	Q3=0-10%
Rabis Bæk	Felt 3	8	ja	nej	80		15-20	20(3-72)	0-5		0				diffus	> 3	50-60	
Rabis Bæk	Felt 4	8	ja	nej	50		25		25-30		0				diffus	> 3	25-30	
Haller Å	Vallerbækvej	8	nej	ja/nej	0		20	9-1042	80	3-16	0				direkte		Q2=20-99%	Q3=0-10%
Karup Å	Hagebro	8/9	ja	nej	30	21-847	0		70	17-295	0				diffus	> 3	15-30	
Gjern Å	Smingevad	9	ja	nej	70-80		0		15-25		0-5				diffus		97	397

7 Feltverificering af klassifikation

7.1 Formål

Formålet med denne aktivitet er:

- At demonstrere hvorledes *Ådalstypen* klassificeres for ådalsstrækninger.
- At demonstrere hvorledes *Strømningsvarianter* klassificeres for ådalsstrækninger.
- At indsamle *praktisk erfaring* vedrørende feltprogrammets del 1 (Nilsson et al, 2003).

Fem ådalsstrækninger i Gjern Å oplandet, beliggende fra det øvre løb til udløbet i Gudenåen, blev undersøgt. Gjern Å oplandet er beliggende i et *morænelandskab*.

7.2 Metode

7.2.1 Klassifikation af Ådalstype

To typer af information sammenstilles for det enkelte område. Det drejer sig om:

- *Geologiske tværsnit* for ådalen. Herved fås information om ådalsmorfologien (nedskæring, bredde og relief) og af den Tilgrænsende Hydrogeologiske Enheds hydrauliske ledningsevne og størrelse.
- *Synkronmålinger*. Herved fås information om vandudvekslingen mellem vandløbet og den Tilgrænsende Hydrogeologiske Enhed (mængde og årsvariation).

Geologiske tværsnit for områderne er tidligere konstrueret for de fem områder i forbindelse med specifikke forskningsprojekter. I kapitel 5 i nærværende rapport findes en beskrivelse af, hvordan information om Ådalstypen generelt tilvejebringes. Tilsvarende er synkronmålinger tidligere udført for strækningerne. Der blev suppleret med yderligere synkronmålinger i forbindelse med denne aktivitet.

7.2.2 Klassifikation af Strømningsvariant

Strømningsvarianten klassificeres for de undersøgte vandløbsstrækninger på grundlag af:

- En *kortanalyse*, hvor det ved sammenligning af gamle topografiske kort (1870'erne) og nye topografiske kort søges at fastslå en eventuel ændring i afvandingstilstand. Drænkort har ikke været tilgængelige, men bør inddrages i det omfang, de findes.
- Ved *feltrekognoscering* søges supplerende information tilvejebragt til at karakterisere strømningen gennem ådalen til vandløbet: observation af

eventuelle dræn, grøfter, væld og overfladisk afstrømning, samt af vegetation, der kan indikere særlige hydrologiske forhold.

7.3 Voldby Bæk ved Anbæk

7.3.1 Ådalstype

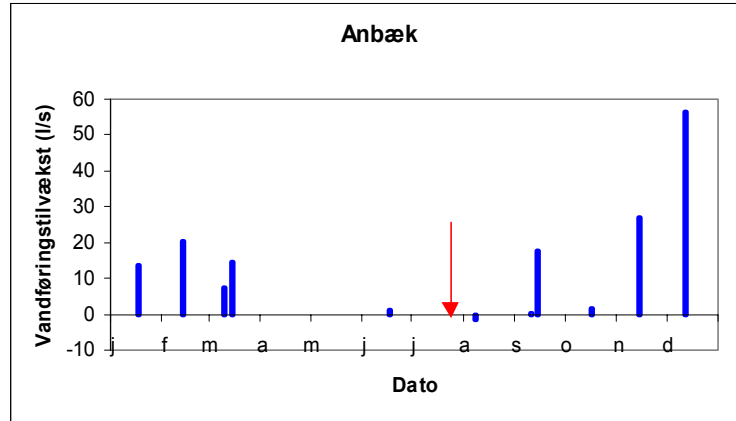
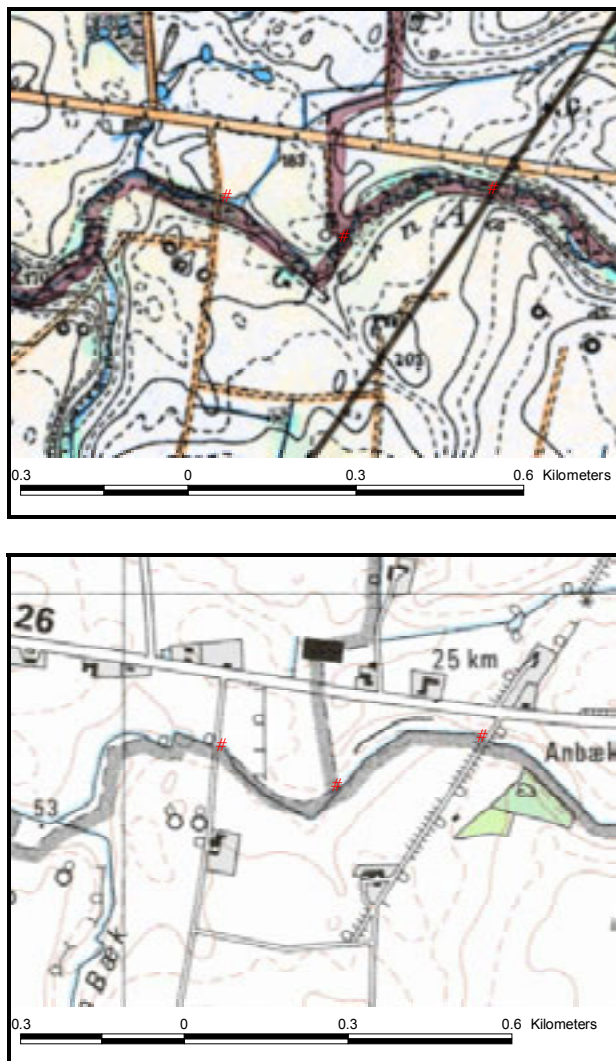


Fig. 7.1. Synchronvandføringsmålinger i Voldby Bæk ved Anbæk. Med rød pil er markeret synkronmålingen juli 2003.

Figur 7.1 viser resultatet af en række synkronvandføringsmålinger i Voldby Bæk ved Anbæk. Vandudvekslingen med den Tilgrænsende Hydrogeologiske Enhed varierer, således at vandløbet er effluent (grundvandstilstrømning til vandløbet) i den største del af året, mens grundvandstilstrømningen dog klinger af over sommeren. Ådalsmagasinet er manglende, den Tilgrænsende Hydrogeologiske Enhed er lavpermeabel, og der er stor sæsonvariation. På grundlag af synkronvandføringsmålinger og geologisk tværsnit klassificeres strækningen som *Ådalstype 1* (figur 3.2 og tabel 3.1).

7.3.2 Strømningsvariant



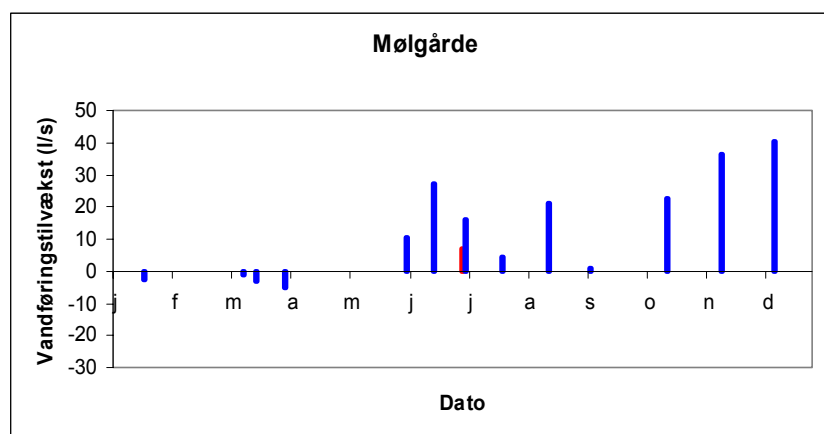
Figur 7.2. Voldby Bæk ved Anbæk på henholdsvis Generalstabskort fra ca. 1870 (øverst) og på nutidigt 4 cm topografisk kort (nederst). Indtegnet på figuren er tre stationer, hvor der den 24.7.2003 tilnærmest synkront blev målt vandføring. Den undersøgte vandløbsstrækning er afgrænset af de to yderste vandføringsstationer.

Figur 7.2 viser Voldby Bæk ved Anbæk på henholdsvis Generalstabskort fra ca. 1870 og på nutidigt 4 cm topografisk kort. Af kortene fremgår det, at der er tale om en svagt markeret dal. Ved sammenligning af kortene fremgår det desuden, at der ikke er foretaget vandløbsudretning eller hovedafvanding (siden 1870). I felten blev vandløbsstrækningen gennemvandret på begge sider af vandløbet. Begge sider af vandløbet på strækningen vist på fig. 7.2 var tørre og blev afgræssede. Der blev ikke observeret dræn.

Strømningen gennem Ådalsmagasinet er diffus (Q_1). Overfladisk afstrømning (Q_2) forekommer ikke og ådalen er ikke drænet (Q_4), ligesom der heller ikke er foretaget hovedafvanding eller vandløbsudretning. Det nuværende strømningsmønster er det naturlige. Strømningsvarianten klassificeres derfor som *Diffus Strømningsvariant*.

7.4 Voldby Bæk ved Mølgårde

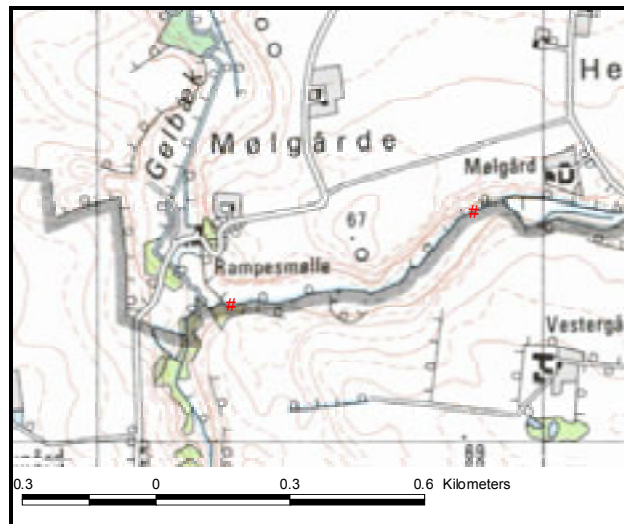
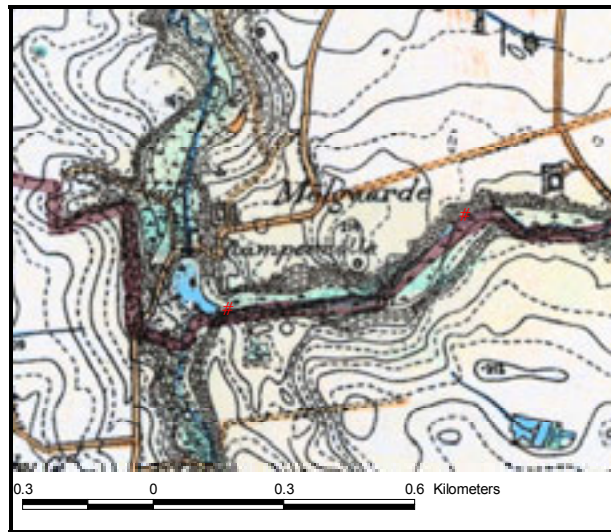
7.4.1 Ådalstype



Figur 7.3. Synkronvandføringsmålinger i Voldby Bæk ved Mølgårde. Med rødt er markeret synkronmålingen juli 2003.

Figur 7.3 viser resultatet af en række synkronvandføringsmålinger i Voldby Bæk ved Mølgårde. Målingerne i januar og marts, der viser, at vandløbet taber vand til det tilgrænsende grundvandsmagasin, er alle foretaget under oversvømmelsessituationer. Idet der ses bort fra disse observationer, viser målingerne, at der er tale om en stor og stabil grundvandstilstrømning fra den Tilgrænsende Hydrogeologiske Enhed (Dahl, 1995). Ådalsmagasinets udstrækning er moderat, den Tilgrænsende Hydrogeologiske Enhed er regional og højpermeabel. På grundlag af synkron-vandføringsmålinger og geologisk tværsnit klassificeres strækningen som *Ådalstype 4* (figur 3.2 og tabel 3.1).

7.4.2 Strømningsvariant



Figur 7.4. Voldby Bæk ved Mølgårde på henholdsvis Generalstabskort fra ca. 1870 og på nutidigt 4 cm topografisk kort. Indtegnet på figuren er to stationer, hvor der den 24.7.2003 tilnærmest synkront blev målt vandføring. Den undersøgte vandløbsstrækning er afgrænset af de to vandføringsstationer.

Figur 7.4 viser Voldby Bæk ved Anbæk på henholdsvis Generalstabskort fra ca. 1870 og på nutidigt 4 cm topografisk kort. Af kortene fremgår det, at der er tale om en dybt nedskåret dal. Ved sammenligning af kortene fremgår det desuden, at der ikke er foretaget vandløbsudretning eller hovedafvandning (siden 1870). I felten blev vandløbsstrækningen gennemvandret og beskrevet på begge sider af vandløbet. Resultatet ses i tabel 7.1.

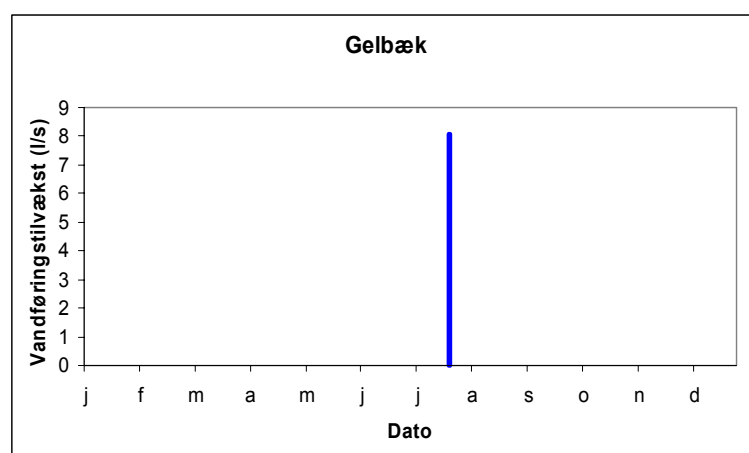
Strømningen gennem Ådalsmagasinet er diffus (Q_1). Herfra strømmer vandet overfladisk til vandløbet på venstre side af ådalen på grund af et vandstandsende gytjelag i 2 m's dybde, som tvinger det tilstrømmende grundvand opad. Ådalen er ikke drænet (Q_4), ligesom der heller ikke er foretaget hovedafvandning eller vandløbsudretning. Det nuværende strømningsmønster er det naturlige. Strømningsvarianten klassificeres som *Diffus Strømningsvariant*.

Tabel 7.1. Feltobservationer pr. ådalssegment.

Ådalssegment	Højre side (nedstrøms)	Venstre side (nedstrøms)
0 m – 100 m	Urtevegetation, tør	Afgræsset, fugtig pga. trykvand
100 m – 200 m	Urtevegetation, tør	Pilesump, fugtig pga. trykvand
200 m – 300 m	Urtevegetation, tør	Pilesump, dunhammer, fugtig pga. trykvand
300 m – 400 m	Urtevegetation, tør	Tør med afgrænset sump (25 m bred) med el, rørgræs, dunhammer
400 m – 500 m	Dunhammer, fugtig pga. Trykvand	Vanddækket mose med overfladisk afstrømning
500 m – 600 m	Afgræsset, tør	Urtevegetation, tør

7.5 Gelbæk mellem Prisbro og Lyngby Bro

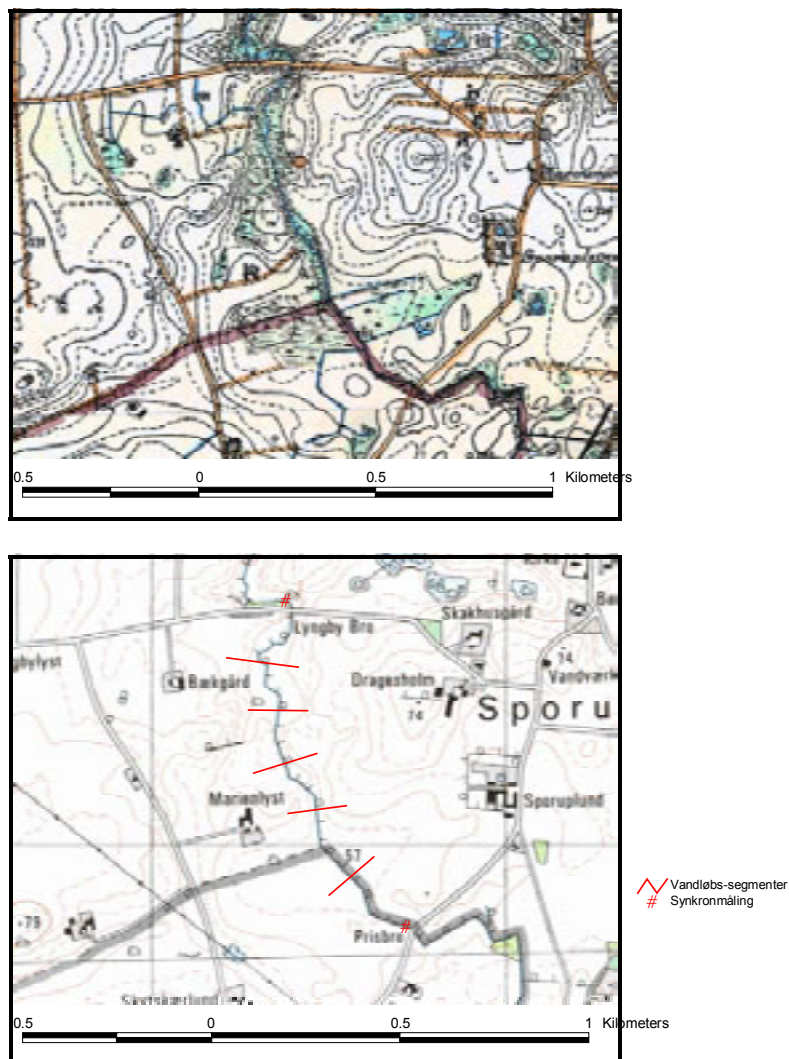
7.5.1 Ådalstype



Figur 7.5 Synkronvandføringsmåling i Gelbæk mellem Prisbro og Lyngby Bro.

Figur 7.5 viser resultatet af en synkronvandføringsmåling i Gelbæk mellem Prisbro og Lyngby Bro. Fra tidligere undersøgelser vides det, at der er en stor grundvandstilstrømning, dog med nogen sæsonvariation. Et egentligt Ådalsmagasin er næsten fraværende, den Tilgrænsende Hydrogeologiske Enhed er regional og højpermeabel. På grundlag af denne viden og det geologiske tværsnit klassificeres strækningen som *Ådalstype 3* (figur 3.2 og tabel 3.1).

7.5.2 Strømningsvariant



Figur 7.6. Gelbæk mellem Prisbro og Lyngby Bro på henholdsvis Generalstabskort fra ca. 1870 (øverst) og på nutidigt 4 cm topografisk kort (nederst). Indtegnet på figuren er to stationer, hvor der den 24.7.2003 tilnærmelsesvis blev målt vandføring. Den undersøgte vandløbsstrækning er afgrænset af de to vandføringsstationer.

Figur 7.6 viser Gelbæk mellem Prisbro og Lyngby Bro på henholdsvis Generalstabskort fra ca. 1870 og på nutidigt 4 cm topografisk kort. Ved sammenligning af kortene fremgår det, at der ikke er foretaget vandløbsudretning eller hovedafvanding (siden 1870). I feltet blev vandløbsstrækningen gennemvandet og beskrevet på begge sider af vandløbet. Resultatet ses i tabel 7.2.

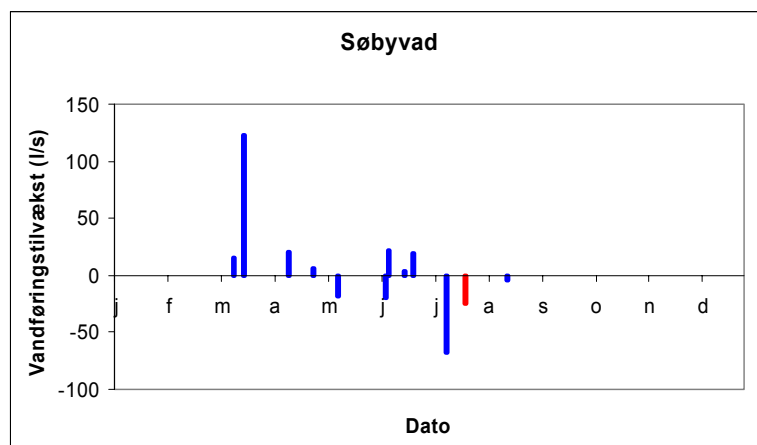
Strømningen gennem Ådalsmagasinet foregår primært i dræn (Q_4), omend en vis overfladisk afstrømning forekommer (Q_2). Detailafvanding med dræn kortslutter de oprindelige strømningsveje og de oprindelige omsætningsprocesser. Der vil altså være en gevinst i form af øget næringsstofomsætning og –retention ved genopretning af det oprindelige strømningsmønster i ådalen. Strækningen klassificeres som *Detailafvandet Strømningsvariant*.

Tabel 7.2. Feltobservationer pr. ådalssegment.

Ådalssegment	Højre side (nedstrøms)	Venstre side (nedstrøms)
0 m – 650 m	Afgræsset, tør	Afgræsset, tør
650 m – 1150 m	Afgræsset, sumpet pga. trykvand, dræn (i delvis dysfunktion?)	Afgræsset, sumpet pga. trykvand, dræn (i delvis dysfunktion?)

7.6 Gjern Å ved Søbyvad

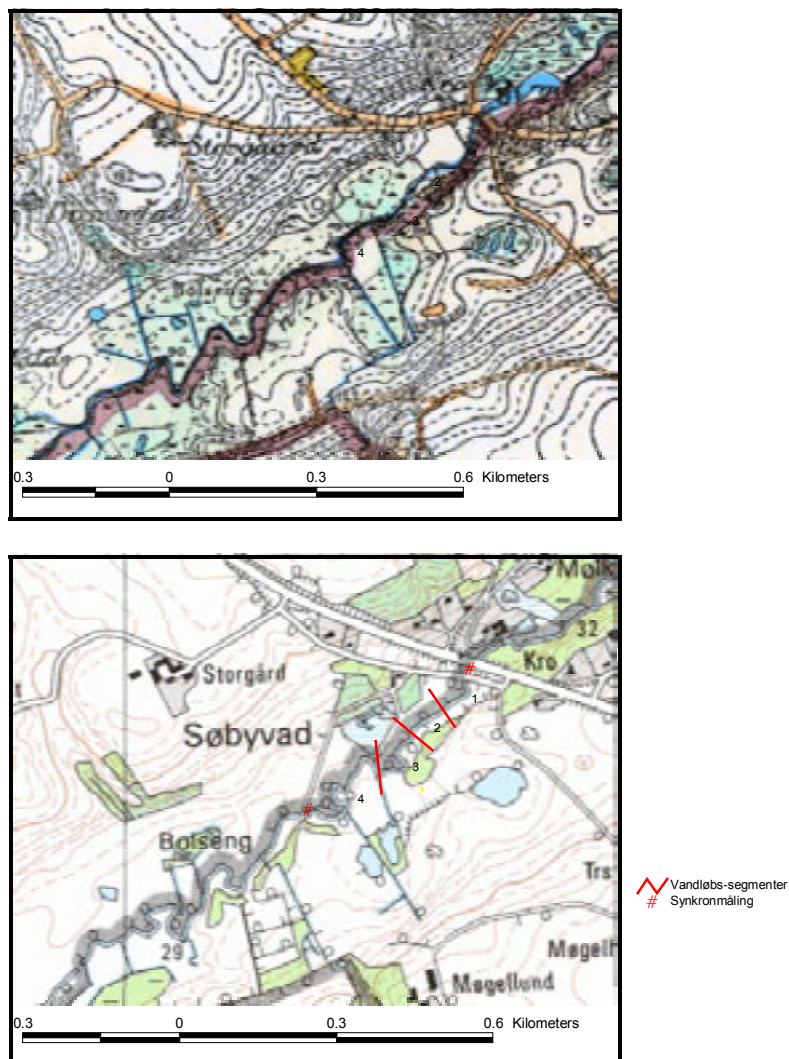
7.6.1 Ådalstype



Figur 7.7. Synkronvandføringsmålinger ved Gjern Å, Søbyvad. Med rødt er markeret synkronmålingen juli 2003.

Fig. 7.7 viser resultatet af en række synkronvandføringsmålinger i Gjern Å ved Søbyvad. Vandudvekslingen med den Tilgrænsende Hydrogeologiske Enhed varierer, således at vandløbet fra at være effluent (udstrømning af grundvand til vandløb) i vinter- og forårsmånederne kan blive influent (indstrømning af overfladevand til grundvandsmagasin) om sommeren. Ådalsmagasinet er moderat udviklet, den Tilgrænsende Hydrogeologiske Enhed er lavpermeabel, og der er stor sæsonvariation. På grundlag af synkronvandføringsmålinger og geologisk tværsnit klassificeres strækningen som *Ådalstype 2* (figur 3.2 og tabel 3.1).

7.6.2 Strømningsvariant



Figur 7.8. Gjern Å ved Søbyvad på henholdsvis Generalstabskort fra ca. 1870 (øverst) og på nutidigt 4 cm topografisk kort (nederst). Indtegnet på figuren er to stationer, hvor der den 24.7.2003 tilnærmet synkront blev målt vandføring. Den undersøgte vandløbsstrækning er afgrænset af de to vandføringsstationer.

Figur 7.8 viser Gjern Å ved Søbyvad på henholdsvis Generalstabskort fra ca. 1870 og på nutidigt 4 cm topografisk kort. Af kortene fremgår det, at der er tale om en relativt dybt nedskåret, bred dal med stort relief. Ved sammenligning af kortene fremgår det desuden, at åen er blevet udrettet på de første ca. 200 m nedstrøms vejoverføringen. I felten blev vandløbsstrækningen gennemvandret og beskrevet på begge sider af vandløbet. Strækningen blev inddelt i segmenter, hvor det i felten blev vurderet, hvor der var ændringer i strømningsforhold. I tabel 7.3 er for hvert segment beskrevet de vigtigste karakteristika.

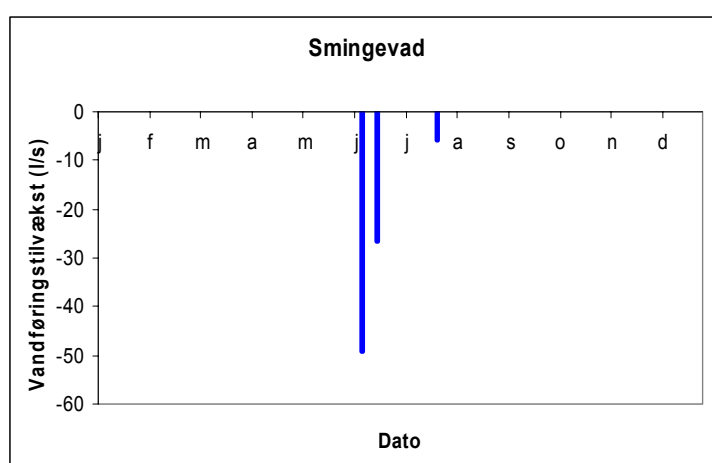
Strømningen gennem Ådalsmagasinet er overvejende diffus (Q_1), mens dræning (Q_4) er af mindre betydning og drejer sig om afvanding af en tidligere mergelgrav. Drænet udmunder i ådalsskrænten. Den øvre del af strækningen er udrettet. Strømningsvarianten klassificeres som *Diffus Strømningsvariant*. Der vil ikke være nogen gevinst i form af forøget næringsstofomsætning ved en genopretning af de naturlige strømningsmønstre i ådalen.

Tabel 7.3. Feltobservationer pr. ådalssegment.

Ådalssegment	Højre side (nedstrøms)	Venstre side (nedstrøms)
0 m – 120 m	Tør, afgræsset eng	Fugtig, opvældende vand ved skræntfod, urtevegetation
120 m – 200 m	Tør, afgræsset eng	Fugtig, opvældende vand ved skræntfod, dræn i skrænten udmunder på engen, reliket meanderbue, urtevegetation
200 m – 350 m	Tør, afgræsset eng	Vekslende tør og fugtig, svagt relief
350 m – 670 m	Tør, afgræsset eng	Tør, brakmark (?), meget bred, svagt relief. Udtørret grøft.

7.7 Gjern Å ved Smingevad

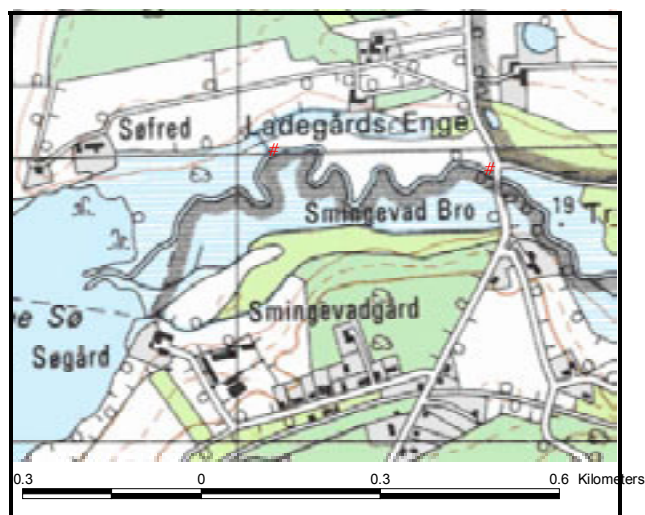
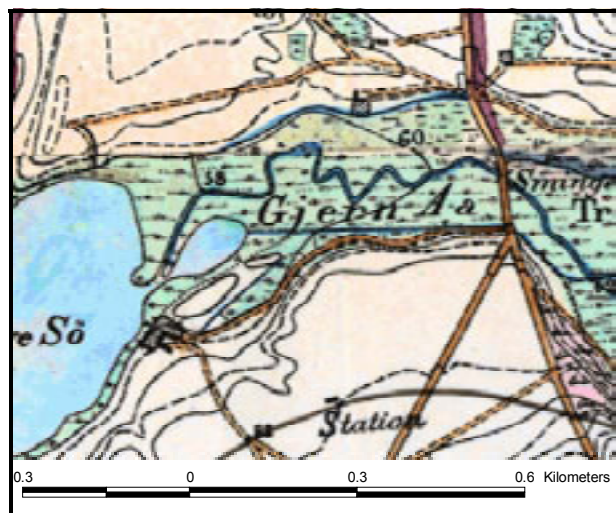
7.7.1 Ådalstype



Figur 7.9. Synkronvandføringsmålinger i Gjern Å ved Smingevad.

Figur 7.9 viser resultatet af synkronvandføringsmålinger i Gjern Å ved Smingevad. De viste målinger er alle udført om sommeren, hvor vandløbet på strækningen er influent (indstrømning af overfladevand til grundvandsmagasin). Fra andre undersøgelser vides det, at der i efterårs-, vinter- og forårsmånederne forekommer grundvandstilstømning til vandløbet, omend tilstrømningen kvantitativt er lille. En bred, dybt nedskåret ådal med et stort Ådalsmagasin, en Tilgrænsende Hydrogeologiske Enhed, som er regional og lavpermeabel, og en årstidsbestemt grundvandstilstømning. På grundlag af denne viden og det geologiske tværsnit klassificeres strækningen som *Ådalstype 9* (figur 3.3 og tabel 3.2).

7.7.2 Strømningsvariant



Synchronmåling

Figur 7.10. Gjern Å ved Smingevad på henholdsvis Generalstabskort fra ca. 1870 (øverst) og på nutidigt 4 cm topografisk kort (nederst). Indtegnet på figuren er to stationer, hvor der den 24.7.2003 tilnærmet synkront blev målt vandføring. Den undersøgte vandløbsstrækning er afgrænset af de to vandføringsstationer.

Figur 7.10 viser Gjern Å ved Smingevad på henholdsvis Generalstabskort fra ca. 1870 og på nutidigt 4 cm topografisk kort. Ved sammenligning af kortene fremgår det, at der ikke er foretaget vandløbsudretning eller hovedafvandning siden 1870 – men åen er sandsynligvis udrettet tidligere ved vejoverføringen. I felten blev vandløbsstrækningen gennemvandret og beskrevet. Langs ådalsskrænten i begge sider er en såkaldt 'backswamp' bevokset med elletræer og født af trykvand. Ådalen har tidligere været afvandt af grøfter parallelt med skrænten, men grøfterne er nu ude af funktion.

Strømningen gennem Ådalsmagasinet foregår diffust (Q_1). Pga. en lille vandløbshældning oversvømmes ådalen hyppigt i perioden efterår – forår og en del af vandløbsvandet infiltrerer ned i Ådalsmagasinet. Herved sker en vis næringsstofomsætning. Desuden fjernes nitrat fra det oversvømmende vand gennem denitrifikation, mens fosfor sedimenterer ud af vandfasen og tilbageholdes i ådalen. Strækningen klassificeres som *Diffus Strømningsvariant*, men den har tidligere været *Detailafvandet Strømningsvariant*. Der forekommer en stor næringsstoffjernelse og –retention, specielt af fosfor. Strømningsmønsteret er tæt på det oprindelige, og der vil således ikke være en gevinst i form af øget

næringsstofomsætning og –retention ved genopretning af det oprindelige strømningmønster i ådalen.

7.8 Sammenfatning

I kapitel 7 er det for fem velkendte ådalslokaliteter i Gjern Å oplandet demonstreret, hvorledes Ådalstype og Strømningvariant kan klassificeres i praksis. På grundlag af de anvendte kontormetoder samt en efterfølgende feltrekognoscering var det muligt at klassificere lokaliteternes Ådalstype og Strømningvariant.

8 Afprøvning af GOI typologi på et sandet opland

8.1 Indledning

Kapitel 8 og 9 omhandler erfaringerne indsamlet under afprøvning af GOI typologien til klassifikation af interaktionen mellem grundvand og overfladevand i ådale, samt erfaringer vedrørende den foreslåede metodiks operationalitet. For at evaluere flest muligt landskabs- og interaktionstyper blev afprøvningen foretaget for to relativt store oplande. Ringkjøbing Amt kortlagde og klassificerede 85 km af Storåen fra dens udspring ved Gludsted plantage indtil dens udløb til Nissum fjords marsk ved Felsted Kog. Fyns Amt var involveret i kortlægning og klassifikation af vandløbsstrækninger i Odense Å oplandet fra Sallinge Ås udspring, gennem hovedløbet af Odense Å til dennes udløb i Odense fjord, en strækning på 61 km. Førstnævnte opland er karakteristisk for smeltevandssletter vest for hovedopholdslinien, mens det andet er karakteristisk for morænelandskaber øst for hovedopholdslinien.

I dette kapitel er afprøvningen af GOI typologien, som den var beskrevet af Nilsson et al (2003), i det sandede Storå opland beskrevet. På grundlag af erfaringerne fra afprøvningen er der foretaget en revision af typologien. Den endelige typologi fremgår herefter af kapitel 2 i nærværende rapport.

Afprøvning af GOI typologien, beskrevet i Nilsson et al (2003), samt dennes operationalitet, blev ved kortlægning af Storåen foretaget interaktivt med Ringkjøbing Amt. Grundet kortlægningens tidsforbrug, blev efterprøvning langs Storåen kun foretaget til og med Hovedtype niveau. I forbindelse med erfaringerne gjort ved bl.a denne efterprøvning, blev typologien ændret og gjort mere operationel. Således blev bl.a Hovedtype ændret til Ådalstype, og de oprindelige Naturlige og Menneskeskabte Varianter ændret til Strømningsvariant (se kapitel 2 og 4). Den nye version af typologien blev efterfølgende anvendt i forbindelse med kortlægning af Strømningsvarianterne ved tre delstrækninger af Storåen.

8.2 Storå – fra udspring til Nissum Fjord

Udgangspunktet for afprøvningen var, at medarbejdere fra Ringkjøbing Amt havde et godt kendskab til generelle kortlægningsrutiner, men intet forhåndskendskab til GOI typologien eller til den metodik, som er foreslået anvendt. I den første uge af amtets arbejde observerede og vejledte forfatteren derfor amtsfolkene i deres forståelse af typologi og arbejdsmetodik. Herefter arbejdede disse videre på egen hånd. Efter endt kortlægning blev resultaterne sammenlignet med en tilsvarende kortlægning og klassifikation foretaget af forfatteren. I de følgende afsnit beskrives resultaterne og erfaringerne med amtets arbejde, ligesom det er fremhævet, hvor der er væsentlige afvigelser mellem amtets resultater, og dem der blev opnået af forfatteren.

Ved Ringkjøbing Amt blev kortlægningen og klassifikationen langs Storåen foretaget i et samarbejde mellem en råstofgeolog med erfaring indenfor råstofkortlægning og OSD kortlægning og en hydrogeolog med erfaring inden for

grundvandskortlægning. Det samlede tidsforbrug for de to amtsgeologers arbejde anslås til fem arbejdsuger á 37 timer.

8.3 Arbejdsgang for klassifikation

8.3.1 Planlægning af arbejdsgang

Med udgangspunkt i Nilsson et al (2003, kapitel 4) blev kortlægningen planlagt til at foregå i fire faser:

- I *første fase* skulle klassifikationen fuldføres til og med Hovedtype (niveau IV i den tidligere version, og niveau II (Ådalstype) i den ny version). Hertil skulle benyttes kortmateriale samt tidligere erfaringer fra bl.a litteraturen.
- I *anden fase* skulle ådalsmorfologiske grænser kortlægges og digitaliseres i et GIS miljø ved brug af ortofotos. Denne kortlægning skulle senere benyttes i fjerde fase ved variant klassifikation (niveau V og VI i den tidligere version).
- I *tredje fase* skulle der foretages en feltverificering og grænser digitaliseret under anden fase skulle eventuelt justeres.
- I *fjerde fase* skulle en klassifikation af Naturlige og Menneskeskabte Varianter (niveau V og VI i den tidligere version, og niveau 3 (Strømningsvarianter) i den ny version) afslutte klassifikationen langs Storåen.

Den planlagte arbejdsgang fulgte dermed den i Nilsson (2003) foreslåede metodik med undtagelse af GIS miljøet, der i Nilsson et al (2003, s. 49ff) anbefales inddraget helt fra starten af klassifikationen.

8.3.2 Den aktuelle arbejdsgang

Om end alle delementerne fra planlægningsfasen indgik i det videre arbejde, fulgte selve arbejdsgangen kun delvist planen. Allerede i første fase blev en mængde informationer til brug i anden fase iagttaget. Endvidere blev anden og tredje fase kombineret til et, mens fjerde fase, grundet tidsmæssige problemer, kun delvist fandt sted. Dette beskrives i større detalje nedenfor.

I *første fase* blev Geologisk Aflejringsmiljø (niveau I), hvor valget står mellem sedimentære aflejringer og grundfjeld, tolket særskilt. Typologiens niveau II, III og IV, omfattende klassifikation af Landskabstype, Tilgrænsende Grundvandsmagasin (nu Tilgrænsende Hydrogeologiske Enhed, der nu er en del af Ådalstype niveauet), samt Hovedtype (nu Ådalstype) blev tolket i sekvens for delstrækninger fra Storåens udspring og nedstrøms. I praksis blev det klassifikationen af ådalens Hovedtype (niveau IV), der blev styrende for klassifikationen af det Tilgrænsende Grundvandsmagasin (niveau III) - og ikke modsat. Hermed fremstår niveau III uden selvstændig operationel funktion. I forbindelse med klassifikationen af Hovedtypen blev en mængde vandløbs- og ådalsmorfologiske detaljer i øvrigt identificeret, noteret og planlagt brugt ved den endelige klassifikation af Naturlige og Menneskeskabte Varianter (niveau V og VI).

I *anden og tredje fase* blev ådalgrænserne og ådalens fordeling af våde og tørre områder bestemt i et GIS miljø for hele Storåen, mens feltrekognoscering og feltverificering af de vandløbs- og ådalsmorfologiske grænser kun blev foretaget for udvalgte delstrækninger. Kortlæggerne bistod hinanden i feltverificeringen både under og efter GIS kortlægningen. Dette resulterede i, at rutinen med denne del af kortlægningen oparbejdedes hurtigere, og at kortlægningen blev meget ensartet. Kortlægningsarbejdet foretaget af hver af de to indenfor samme område afveg således kun ubetydeligt fra hinanden.

Indenfor de fem arbejdsuger, som amtet havde til rådighed, var der ikke tid til at foretage klassifikation af Naturlige og Menneskeskabte Varianter, dvs den planlagte *fjerde fase*.

Nedenfor, i afsnittene 8.4 til 8.7 gennemgås klassifikationen til og med Hovedtype, mens 8.8 gennemgår forfatterens egen klassifikation af Strømningsvarianter for udvalgte strækninger langs Storåen. I afsnit 8.9 opsummeres valideringsresultaterne af klassifikationen foretaget af Ringkjøbing Amt.

8.4 Geologisk Aflejningsmiljø (niveau I)

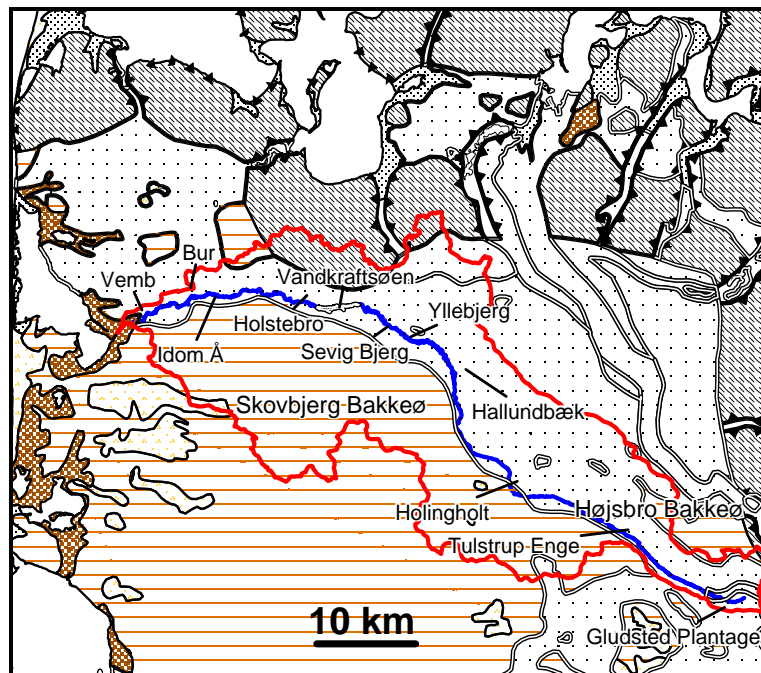
Ud fra *à priori* kendskab til amtets geologi blev det Geologiske Aflejningsmiljø tolket til *sedimentært*.

8.5 Landskabstype (niveau II)

Storå oplandets overordnede geomorfologi (landskabets overfladeformer) blev analyseret på grundlag af Landskabskort over Danmark (Smed, 1981), geomorfologiske kort (B5-kort), målebordsblade og 4-cm kort med kurveplaner, basisdatakort, samt *a priori* kendskab til amtets geologi. Geomorfologien domineres næsten ligeligt af udvaskede moræneaflejringer fra Saale istiden, hvoraf Skovbjerg bakkeø udgør den største del, og smeltevandsaflejringer fra Weichsel istiden. Den nordlige del af oplandet har dog karakter af et dødsislandskab fra Weichsel. Helt lokalt afspejler overfladeformerne holocæne flyvesandsaflejringer. Storåen forløber overvejende i områder med smeltevandsaflejringer (figur 8.1)

Landskabstyperne repræsenteret langs Storåen blev klassificeret til henholdsvis *morænelandskab* og *smeltevandslette*.

Forfatteren er enig i amtets klassifikation af Landskabstype.



Figur 8.1. Udsnit af Landskabskort over Danmark (Smed, 1981 - digitaliseret af Ringkjøbing Amt). Den klassificerede del af Storåen er vist med fed blå streg. Det topografiske opland er vist med fed rød streg.

8.6 Tilgrænsende Grundvandsmagasin (niveau III)

Ringkjøbing Amts klassifikation af det Tilgrænsende Grundvandsmagasin (niveau III) var i en sådan grad styret af klassifikation af Hovedtype (niveau IV), at den selvstændige operationelle funktion af dette niveau i den hierarkisk opbyggede typologi udeblev.

Forklaringen herpå er blandt andet, at datagrundlaget til bestemmelse af det til ådalen Tilgrænsende Grundvandsmagasin var begrænset til basisdatakort og jordartskort. At der ikke blev udarbejdet en ny regionalgeologisk og hydrogeologisk kortlægning af oplandet (som det ellers anbefales i afsnit om kortlægningsmetodik i Nilsson et al (2003, s. 50-51), såfremt sådanne ikke tidligere er udarbejdet) kan forsvares af de to geologers generelle kortlægningserfaring samt af, at særskilte kortlægningsarbejder af regionalgeologisk og hydrogeologisk karakter ville medføre, at klassifikationen langs Storåen formentlig ikke ville passere nøglens niveau III indenfor den afsatte tid.

I forbindelse med kortlægning af Hovedtype (niveau IV) blev ådalene inddelt i strækninger med henholdsvis *Tilgrænsende højpermeable, semipermeable og lavpermeable Grundvandsmagasiner*.

Set i lyset af den til opgaven afsatte tid og det eksisterende datagrundlag, er det forfatterens opfattelse, at amtsfolkene, valgte den mest operationelle løsning ved at kortlægge Hovedtype (niveau IV), før det Tilgrænsende Grundvandsmagasin (niveau III).

8.7 Hovedtype (niveau IV)

Ådalens geomorfologi, herunder ådalens bredde, relief og nedskæring, blev estimeret ud fra 4-cm kort, målebordsblade og kurveplaner, mens grundvandsmagasinets størrelse blev estimeret ud fra basisdatakort. Synkrone vandføringsmålinger ville have været værdifulde som supplement til vurdering af grundvandsmagasinets størrelse, men p.t. findes sådanne ikke i dag for Storå.

Dels på grund af tidsforbruget og dels ud fra en vurdering af et manglende udbytte blev brugen af luftfotos kombineret med spejlstereoskopiske teknikker ikke inddraget i amtets klassifikation af Hovedtyperne. En sådan brug blev ellers anbefalet i Nilsson et al (2003), da det kan give en pseudo 3-D visuel indsigt i ådalens former.

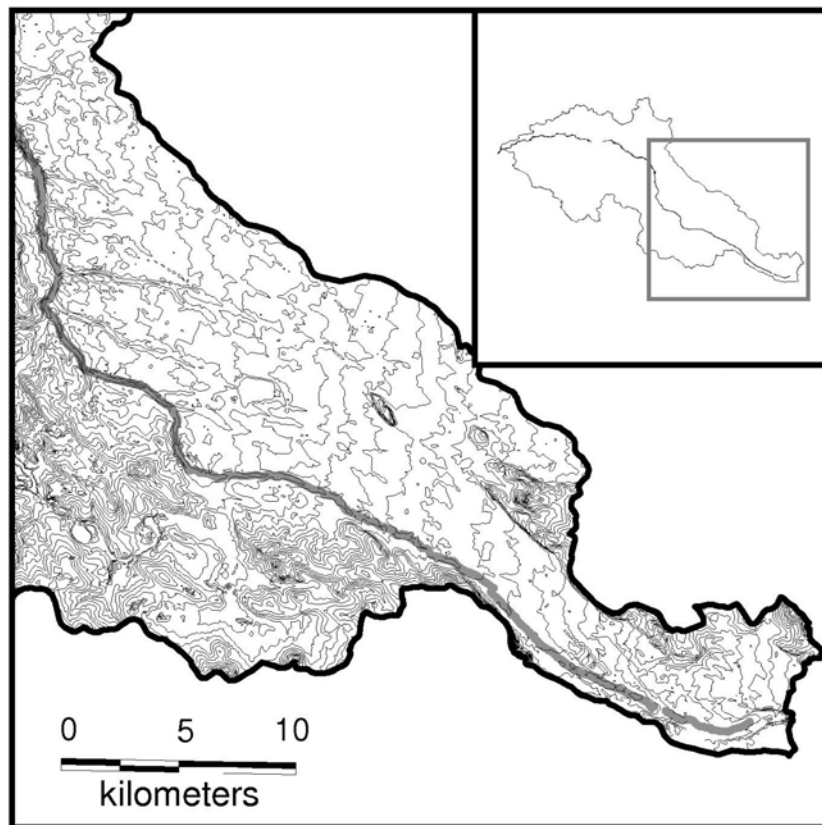
Forfatteren gennemgik derfor efterfølgende udvalgte delstrækninger af Storåen ved brug af luftfotos (Danish Secret Service, 1954) og spejlstereoskopi. Erfaringen herfra er, ligesom indenfor Haller Å oplandet (Nilsson et al, 2003, s. 55ff), at metoden tilsyneladende kan benyttes til at kortlægge skræntfodens placering med stor nøjagtighed langs store dele af Storåen (forfatteren har dog ikke foretaget feltverificering heraf), men at kortlægningen er usikker på strækninger, hvor overgangen fra ådal til opland er jævn, eller hvor krat og træer skjuler overgangen.

Forfatteren mener derfor fortsat, at 3-D visualisering kan være værdifuld ved afgrænsning af ådalen. Imidlertid er det meget tidskrævende at arbejde med luftfotos og spejlstereoskopi, og da analyseresultaterne efterfølgende skal overføres manuelt til et GIS miljø, vil denne form for 3-D visualisering formentlig sjældent blive anvendt. 3-D visualisering bør med andre ord operationaliseres og indbygges

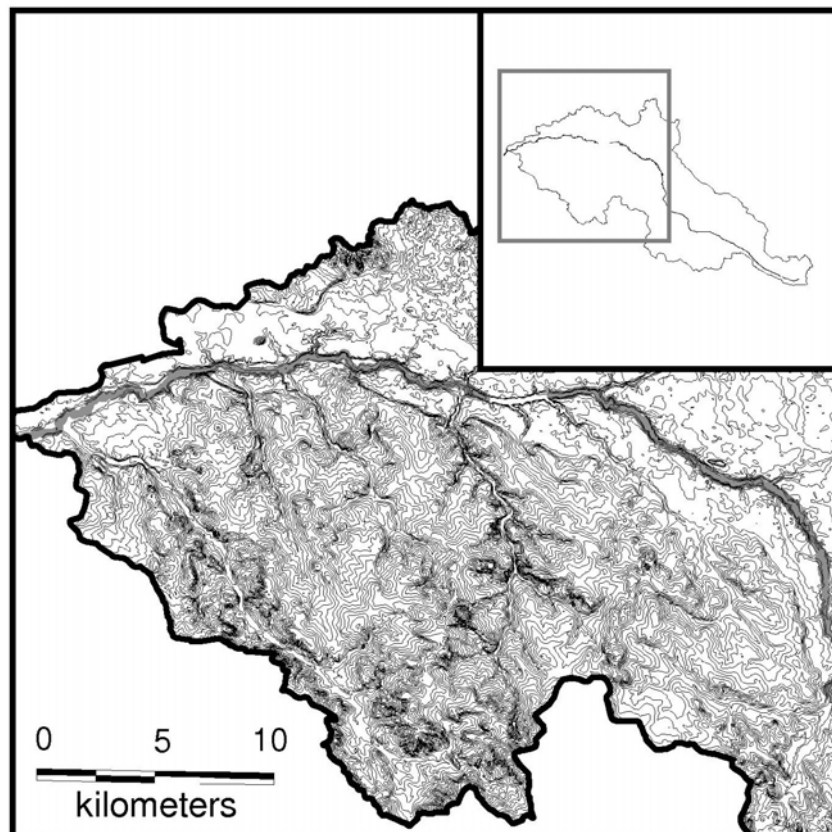
i et GIS miljø, så det bliver enkelt at foretage en nøjagtig digitalisering af ådalsmorfologiske grænser (se kapitel 5 og 9).

Efter bestemmelse af ådalsmorfologien og ådalens Tilgrænsende Grundvandsmagasin klassificerede amtet Hovedtyperne. Hertil blev i Nilsson et al (2003) anvendt figurene 4.2a og 4.2b over Hovedtyperne samt den tilhørende tabel 4.3. Foruden at nævnte tabel 4.3 er utydelig, blev klassifikationen af Hovedtyperne besværet af, at Hovedtyperne er beskrevet ved en relativ geometrisk skala, ikke en absolut.

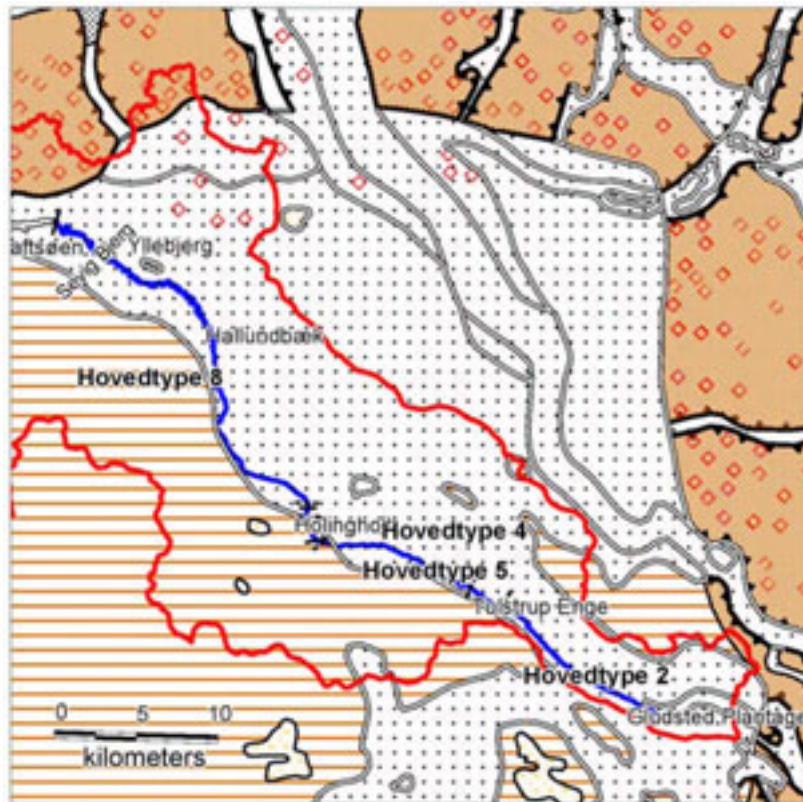
Nedenfor gennemgås klassifikationen af Hovedtyperne langs Storåen. Hovedtypernes rumlige fordeling langs Storåen kan ses på figur 8.4 og 8.5.



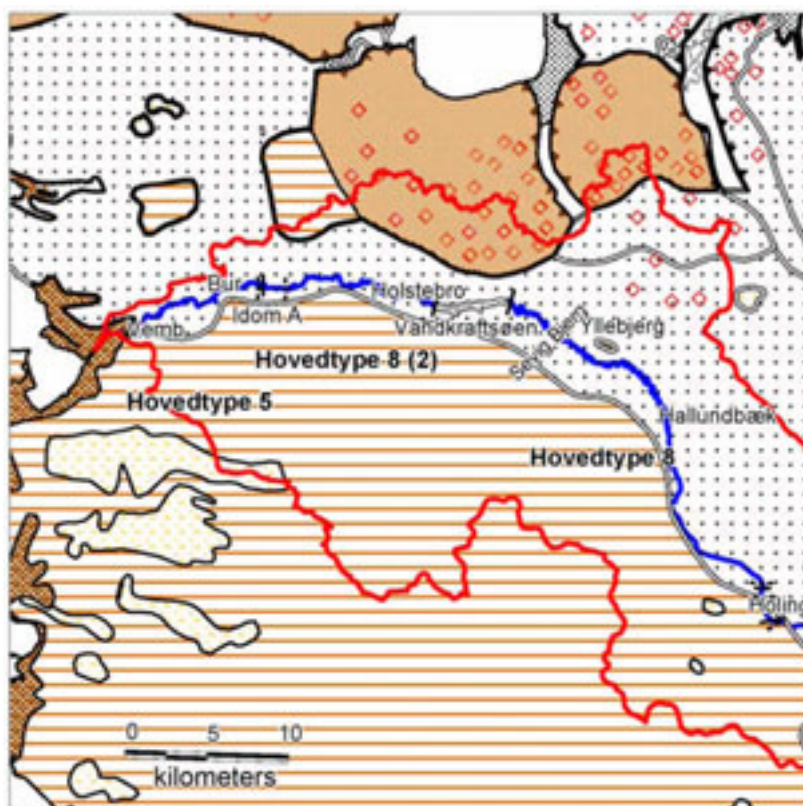
Figur 8.2. Kurveplan for den øverste del af Storå oplandet. 2.5 m ækvidistance.



Figur 8.3. Kurveplan for den nederste del af Storå oplandet. 2.5 m ækvidistance.



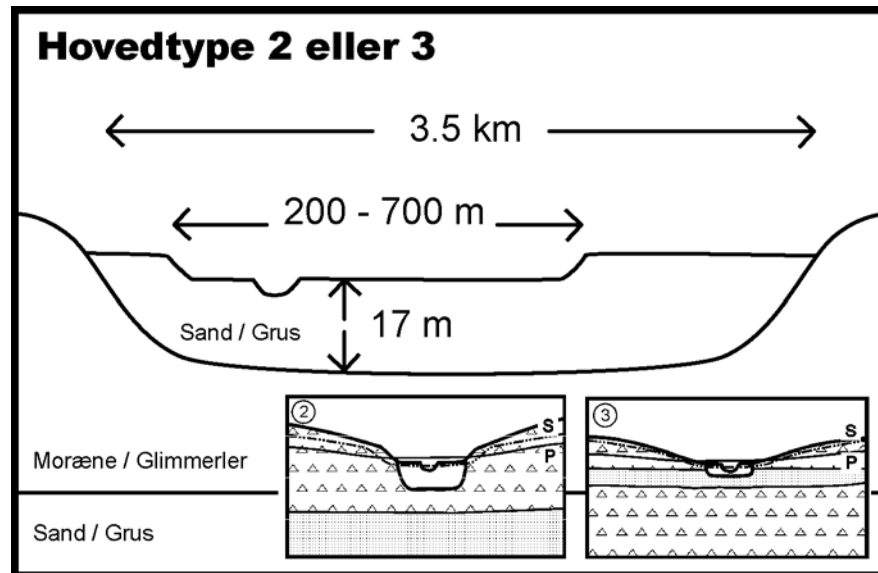
Figur 8.4. Udsnit af Landskabskort over Danmark (Smed, 1981 - digitaliseret af Ringkjøbing Amt) med afgrænsning af Hovedtyper langs den øverste del af Storå oplandet. Amtets afgrænsning er vist med en sort streg, mens stiplede linier angiver de af forfatteren skønnede usikkerheder for afgrænsningen.



Figur 8.5. Udsnit af Landskabskort over Danmark (Smed, 1981 - digitaliseret af Ringkjøbing Amt) med afgrænsning af Hovedtyper langs den nederste del af Storå oplandet. Amtets afgrænsning er vist med en sort streg, mens stiplede linier angiver de af forfatteren skønnede usikkerheder for afgrænsningen.

8.7.1 Gludsted Plantage – Tulstrup Enge

Storåen udspringer på den sydligste del af Karup Hedeslette i Gludsted Plantage mellem Skovbjerg og Bording bakkeøer. På strækningen mellem Gludsted Plantage og Tulstrup Enge er smeltevandssletten omkring 3.5 km bred (figur 8.1). Ådalens bredde varierer mellem 200 og 800 m (figur 8.4 og 8.6), hvilket er bredt i forhold til placeringen helt opstrøms i oplandet. Forklaringen er formentlig, at ådalen her løber i en ekstramarginal smeltevandssdal (figur 8.1).



Figur 8.6. Tværnsnit af den konceptuelle model mellem Gludsted Plantage og Tulstrup Enge, tolket af amtet. Typologiens Hovedtype model ses nederst.

Ådalens relief er først overvejende moderat, men fra Skovbjerg bakkeø bliver det stort (figur 8.2). Hvor en terrasse er udviklet på ådalens nordlige flanke, er relieffet stedvist stort, men ellers moderat. På nogle opstrøms og enkelte nedstrøms delstrækninger forsvinder relieffet dog helt, og ådalen går jævnt over i smeltevandssletten.

Basisdatakort viser, at ådalens samlede nedskæring generelt er stor. Der kan imidlertid ikke på det foreliggende grundlag skelnes mellem Ådalsmagasinets og smeltevandsaflejringeres sedimenter, hvis samlede mægtighed udgør mellem 15 og 20 meter. Disse sedimenter overlejrer en tyk in situ glimmerlersaflejring. Fra tidligere erfaringer vides det, at glimmerleret muligvis ikke udgør et sammenhængende dække, hvorfor der kan være kontakt mellem Ådalsmagasinet og dybe grundvandsførende tertiære lag, der ligger under glimmerlersaflejringen.

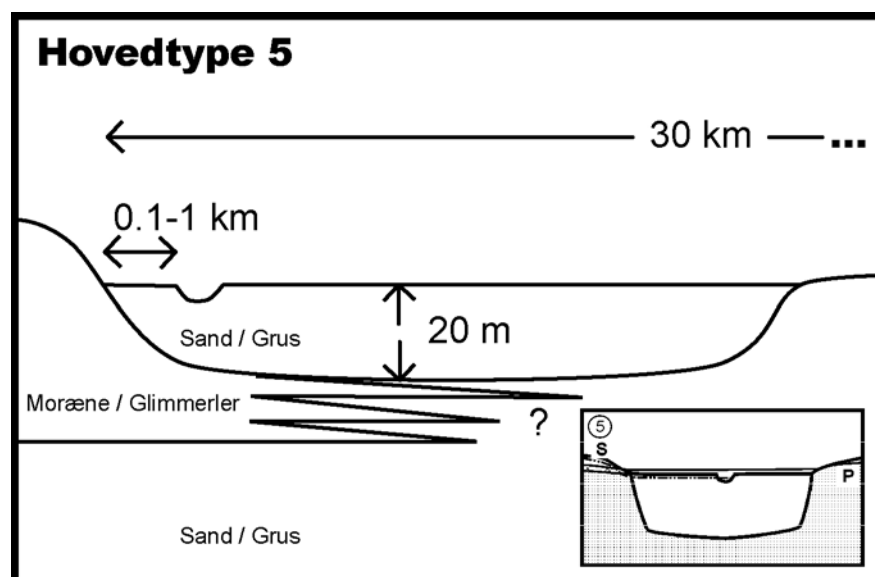
Med baggrund i disse overvejelser klassificerede amtet derfor ådalen fra Gludsted Plantage til Tulstrup Enge til at være *Hovedtype 2 (nu Ådalstype 2)* (figur 8.4).

Forfatterens kommentar hertil er følgende. Ådalens topografiske karakteristika svarer kun delvist til dem, som karakteriserer Hovedtype 2, for eksempel er hverken ådalens relief eller nedskæring entydigt stort. Endvidere domineres det Tilgrænsende Grundvandsmagasin af højpermeable smeltevandsaflejringer og ikke af semi- eller lavpermeable aflejringer. Endeligt kræver klassifikationen af Hovedtype 2 også en 'mere stabil grundvandstilstrømning'. Om en sådan er givet kan ikke vurderes på baggrund af de eksisterende synkron vandføringsmålinger. Imidlertid er det topografiske opland til Storåen på strækningen fra Gludsted

Plantage til Tulstrup Enge relativt lille, hvorved det må formodes, at grundvandstilstrømningen snarere er styret af mere overfladenær end dyb tilstrømning. At disse forhold skulle være givet kan formodes, men ikke påvises ud fra det eksisterende datagrundlag. Med baggrund i disse overvejelser vurderer forfatteren, at ådalen bør klassificeres som *Hovedtype 3 (nu Ådalstype 3)*. Årsagen til amtsfolkernes valg af *Hovedtype 2* skal ses i lyset af tre forhold: (i) Dette var den første *Hovedtype*, amtsfolkene klassificerede. (ii) Tabel 4.3 i Nilsson et al (2003), som klassifikationen til dels bygger på, er næsten ulæselig. (iii) Amtsfolkene havde ikke mulighed for revurdering af deres klassifikation af *Hovedtype*, som man normalt ville forvente i forbindelse med en afrapportering.

8.7.2 Tulstrup Enge – Holingholt ved Viborgvej

Med undtagelse af enkelte mindre bakkeøer, der kommer til at fremstå som markante topografiske elementer i det ellers flade landskab, breder Karup Hedeslette sig ud, efter at den har passeret Bording Bakkeø (figur 8.1). Mellem Tulstrup Enge og Holingholt ved Viborgvej når smeltevandsslettens samlede bredde i nord-sydlig retning op på ca. 30 km. Bredden af ådalen er stadig stor, mellem 200 og 700 m (figur 8.4 og 8.7). Ådalens relief er stort mod den flankerende Skovbjerg Bakkeø, hvorimod ådalen går jævnt over i smeltevandssletten mod nord. Mægtigheden af Ådalsmagasinet og smeltevandssletten, vurderes til omkring 20 m. Nedsikringen vurderes tilsvarende som stor. De højpermeable aflejringer underlejres af et ikke-sammenhængende lav- eller semipermeabelt lag af glimmerler og/eller moræneler.



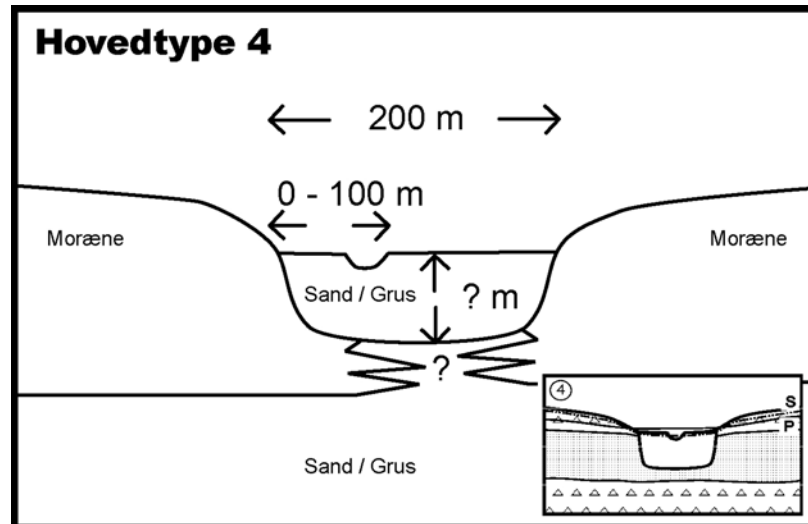
Figur 8.7. Tværsnit af den konceptuelle model mellem Tulstrup Enge og Holingholt tolket af amtet. Typologiens *Hovedtype* model ses nederst.

Som følge af de underlejrende semi- eller lavpermeable aflejringer blev det overvejet, om *Hovedtypen* skulle klassificeres som 3, 4 eller 5. Omend ådalsstrækningen blev klassificeret som *Hovedtype 5 (nu Ådalstype 5)*, så kunne der ikke entydigt vælges en af de tre *Hovedtyper*. Dette skyldes typologiens brug af en relativ, ikke absolut skala.

Forfatteren er på det givne datagrundlag enig i *Hovedtype* klassifikationen. Den relative skala er anvendt for at kunne gruppere ådale, der ikke nødvendigvis har de samme rumlige dimensioner, men fysisk og kemisk set er ligedannede. Det er derfor forfatterens opfattelse, at problemer ved brugen af typologiens relative skala er umiddelbare og vil forsvinde i takt med at klassifikationserfaringen øges.

8.7.3 Holvingholt, 3 km strækning

Indtil Holvingholt løber Storåen langs Skovbjerg Bakkeø, men herefter gennemskærer ådalen bakkeøen på en cirka 3 km lang strækning (figur 8.1). Bemærk, at havde datagrundlaget alene været Landskabskort over Danmark (Smed, 1981), var forløbets længde blevet overfortolket. Ådalen bliver relativt smallere, omtrent 200 - 300 m bred (8.4 og 8.9), og begge skrænters relief er stort, og større end relieffet mellem Gludsted Plantage og Tulstrup enge. På det foreliggende grundlag kan man ikke vurdere Ådalsmagasinets mægtighed og nedskæring, det Tilgrænsende Grundvandsmagasins størrelse, eller om Ådalsmagasinet underlejres af semi- eller lavpermeable aflejringer.



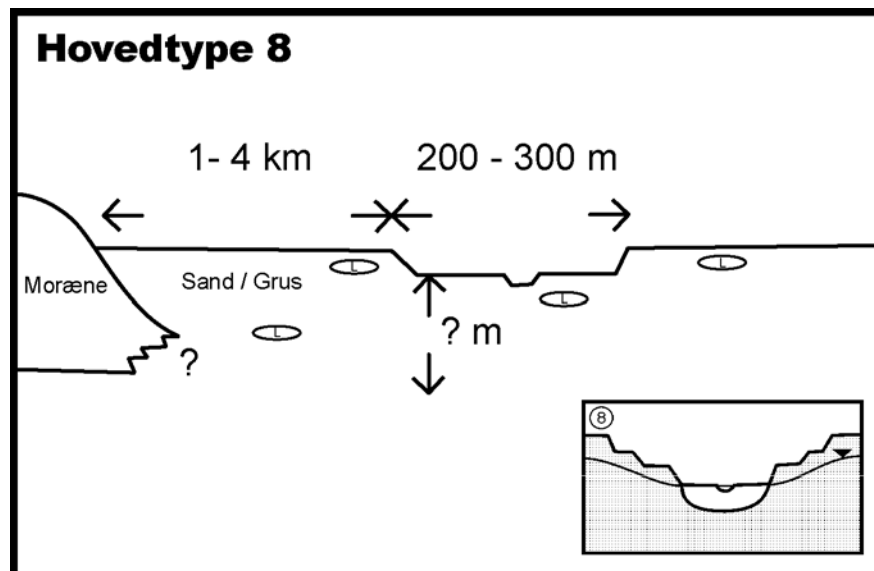
Figur 8.8. Tværsnit af den konceptuelle model ved Holvingholt tolket af amtet. Typologiens Hovedtype model ses nederst.

Strækningen blev klassificeret som *Hovedtype 4* (nu *Ådalstype 4*), idet det antages, at den tidligere erfaring om ådalens nedskæringsgrad kan ekstrapoleres til også at gælde nedstrøms for Holvingholt. Desuden antages, at der på denne mere nedstrøms strækning af ådalen vil være en stabil grundvandstilstrømning til Ådalsmagasinet.

Forfatteren er på det givne datagrundlag enig i disse betragtninger og i klassifikationen af ådalen.

8.7.4 Holvingholt - Holstebro nedstrøms Vandkraftsøen

Efter dalen ved Holvingholt bevæger åen sig igen ud på den åbne Karup Hedeslette. Herfra og indtil Vandkraftsøen opstrøms Holstebro by skærer ådalen sig stadig dybere ned i smeltevandssletten og der udvikles terrassesystemer langs ådalen. Relieffet er generelt stort (figur 8.2, 8.3 og 8.9). Særligt veludviklet er det i området syd for Yllebjerg Bakkeø (figur 8.1). Indtil Yllebjerg er ådalens bredde mellem 200 og 300 m, men derefter og indtil Vandkraftsøen bliver den stadig smallere, mellem 100 og 200 m (figur 8.4 og 8.5).



Figur 8.9. Tværsnit af den konceptuelle model mellem Holingholt og Holstebro nedstrøms Vandkraftssøen tolket af amtet. Typologiens Hovedtype model ses nederst.

I flere boringer forekommer der kvartssand tæt på terræn. Disse tertiære aflejringer tolkes ud fra et generelt kendskab til områdets geologi som in situ, hvorved de dækkende smeltevandsaflejringer vurderes at have varierende tykkelse. Væk fra Skovbjerg Bakkeø og med undtagelse af partier, der tolkes som spredte ler og morænelers linser i og udenfor Ådalsmagasinet, kendes dybden til den nedre grænse for det højpermeable magasin ikke (figur 8.9). Ud fra disse overvejelser og relieffets størrelse tolkes ådalens nedskæring at være relativt dyb, og det Tilgrænsende Grundvandsmagasin at være større og højpermeabelt. En stabil grundvandstilstrømning forventes derfor året rundt. Det blev diskuteret om mulige lav- eller semi-permeable aflejringer med et organisk indhold kunne findes umiddelbart under terræn ved f.eks Sevig Bjerg (nedstrøms Yllebjerg) og tilsvarende steder, hvor større vandløbsafsnøringer har fundet sted (meanderafsnøringer). Det kan dog ikke afgøres uden nærmere undersøgelser i felten. Det vurderedes, at sådanne undersøgelser ikke er nødvendige for klassifikationen af Hovedtype.

Mellem Holingholt og Vandkraftssøen blev ådalen klassificeret som *Hovedtype 8* (nu *Ådalstype 7*).

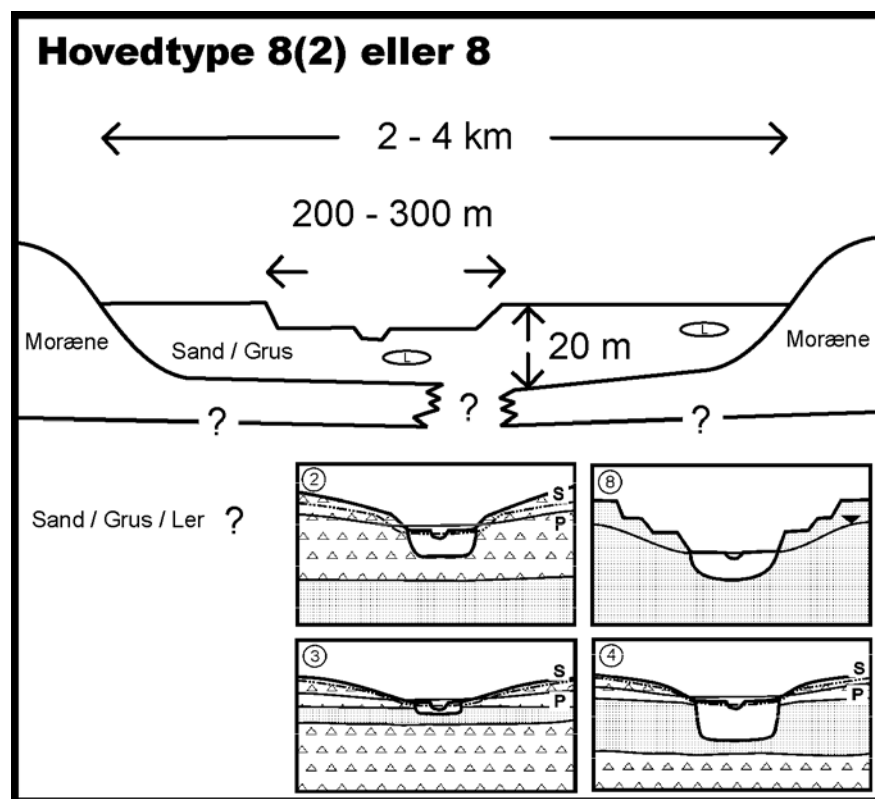
Forfatteren er på det givne datagrundlag enig i klassifikationen af strækningen.

8.7.5 Holstebro by – Idom Å

Efter Vandkraftssøen forløber ådalen på en smeltevandsslette, som tolkes at være adskilt fra Karup Hedeslette. Bredden af smeltevandssletten fra Holstebro til Idom Å, mellem bakkeøen og ungmorænen, er 2-4 km (figur 8.1 og 8.5). Efter Holstebro er relieffet mellem morænelandskabet og smeltevandssletten generelt stort og stedvist markant (figur 8.3 og 8.10). Mellem smeltevandssletten og ådalen er relieffet også stort, hvor der er udviklet terrasser. Terrasseudvikling og relief aftager mod syd omtrent 3 km før Idom Å, syd for Gedmosen. Centrum af Holstebro er placeret i selve ådalen, mens de nordlige og sydlige dele ligger på smeltevandssletten. Urbaniseringen har formentlig bevirket, at relieffet mellem smeltevandssletten og ådalen ikke er så markant i byen som nedstrøms for denne. Ådalens bredde er mellem 150 og 300 m. Smeltevandssletten og Ådalsmagasinets aflejringer, der vurderes til at have en tykkelse på omkring 20 m, tolkes til delvist

at underlejres af semi- eller lavpermeable aflejringer bestående af morænesand og moræneler fra henholdsvis Skovbjerg Bakkeø og ungmorænen (figur 8.11). Udbredelsen af morænerne og om disse stedvist udgør en nedre grænse for de højpermeable aflejringer er dog uvis. Isolerede lerlinser findes i og udenfor Ådalsmagasinet.

Strækningen fra Holstebro by til Idom Å blev af amtet klassificeret som *Hovedtype 8* i *Hovedtype 2* (nu *Ådalstype 7* i *Ådalstype 2*).



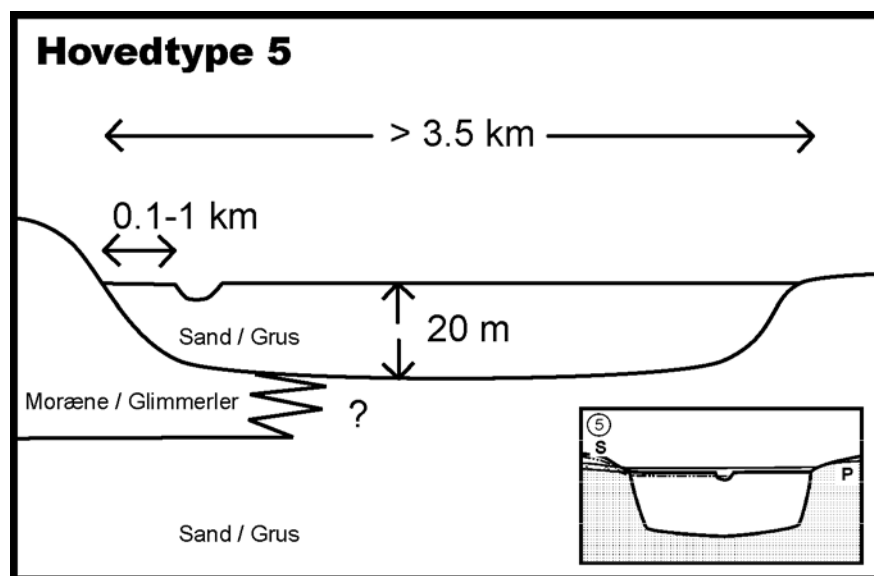
Figur 8.10. Tværsnit af den konceptuelle model mellem Holstebro by og Idom Å tolket af amtet. Typologiens Hovedtype model ses nederst.

Ud fra de givne data er det forfatterens opfattelse, at Ådalsmagasinet ikke, som tilfældet var mellem Gludsted Plantage og Tulstrup Enge, har en nedre dominerende semi- eller lavpermeabel grænse. Derfor må valget enten falde på Hovedtype 3, 4, eller 8. Hovedtype 3 vurderes at være mindre sandsynlig end Hovedtype 4 på grund af den nedstrøms strækningens beliggenhed i oplandet. Det eneste ved de foreliggende data, som umiddelbart taler imod at klassificere ådalen som Hovedtype 8, er ådalens placering tæt på Skovbjerg Bakkeø. Imidlertid er Skovbjerg Bakkeø en relativt sandet moræne (Ringkjøbing Amt, Holger Prahm og Ellen Langfrits, pers. komm.). Det er derfor forfatterens opfattelse, at ådalen på det foreliggende grundlag bør klassificeres som *Hovedtype 8* (nu *Ådalstype 8*).

8.7.6 Idom Å - Vemb

Efter Idom Å bliver smeltevandssletten bredere mod nord, men oplandets topografiske grænser rykker til gengæld tættere på ådalen. Relieffet mellem Skovbjerg Bakkeø og smeltevandssletten forbliver uændret og terrasserne langs ådalen fortsætter indtil stik syd for Bur (figur 8.3), hvor terrassesystemet bliver mindre udviklet og ådalen bliver bredere (figur 8.11). Indtil Bur er ådalens bredde mellem 250 og 400 m, mens bredden efter Bur er mellem 350 og 750 m (figur 8.4). Ådalens relief mindskes efter Bur, men inden dette sker, skærer ådalen bakkeøen

syd øst for Bur (figur 8.5). Efter Bur aftager ådalens hældning. Isolerede lerlinser findes i og udenfor Ådalsmagasinet, men data indikerer ikke en nedre semi- eller lavpermeabel grænse. Grundvandsmagasinet vurderes at være større.



Figur 8.11. Tværsnit af den konceptuelle model mellem Idom Å og Vemb tolket af amtet. Typologiens Hovedtype model ses nederst.

Ådalen fra Idom Å til Vemb klassificeres som *Hovedtype 5 (nu Ådalstype 5)*. Såfremt diskussionen ovenfor, vedrørende Hovedtype 8 og dennes nedstrøms grænse viser sig rigtig, har Hovedtype 5 den udstrækning fra stik syd fra Bur til Vemb. Med denne undtagelse er forfatteren på det givne datagrundlag enig i klassifikationen af ådalsstrækningen.

8.7.7 Vemb – Nissum Fjord

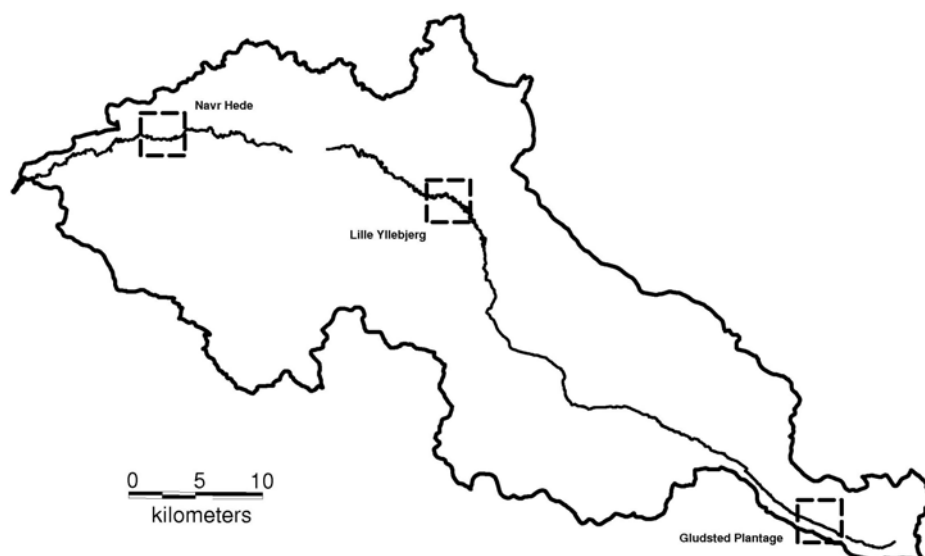
Nedstrøms Vemb begynder marsklands-kabet at folde sig ud. Klassifikationen ophører følgelig ved Vemb.

8.8 Strømningsvarianter

Ved klassifikation af grundvandsstrømningsveje gennem ådalen til vandløbet, er de Naturlige og Menneskeskabte Varianter ifølge den tidligere version af GOI typologien udeladt (Nilsson et al, 2003, kapitel 4). I stedet følges den nye version af typologien (kapitel 2 i nærværende rapport), hvor Strømningsvarianterne klassificeres ud fra den dominerende strømningsvej.

Strømningsvarianterne blev kortlagt ved tre udvalgte delstrækninger langs Storåen (figur 8.12). Indenfor hver delstrækning, vurderes strømningsforholdene i ådalen at være ensartede, mens strømningsforholdene lokaliteterne imellem er forskellige. Metodikken til kortlægning af Strømningsvarianter er uændret i forhold til den oprindelige metodik til kortlægning af de nu sløjfede Naturlige og Menneskeskabte Varianter. Kortlægningen af Strømningsvarianterne ved de tre udvalgte delstrækninger følger derfor de i Nilsson et al (2003) angivne retningslinier.

Bortset fra målebordsblade, har datagrundlaget indgået i et GIS miljø (4-cm kort, TOP10DK, samt ortofotos). Strømningsvarianterne bestemt ved skrivebordet blev efterfølgende feltverificeret. Ringkjøbing Amt har lavet en separat kortlægning af udbredelsen af de våde engzoner langs Storåen, men en detaljeret feltverificering



Figur 8.12. Delstrækninger langs Storåen for hvilke Strømningsvarianter er klassificeret: Gludsted Plantage (øvre løb), Lille Yllebjerg (midterste løb), og Navr Hede (nedre løb).

og efterfølgende kvantificering af de våde områders arealmæssige fordeling manglede. Amtsfolkenes arbejde vurderes derfor ikke i nærværende analyse.

Nedenfor gennemgås de kortlagte tre delstrækninger, herunder beskrivelse og feltverificering af strømningsvejene ved lokaliteterne, samt klassifikation af Strømningsvarianten i henhold til typologien.

I den sammenhæng vurderes *grøftnings-* og *drændensiteten* i ådalene at være høj for afstande mindre end 100 m, middel for afstande mellem 100 og 250 m, og lav for afstande over 250 m (jævnfør afsnit 5.5.3). Ådalens nitratreduktion, vurderet ud fra tabel 4.1, afrunder beskrivelsen af de enkelte delstrækninger.

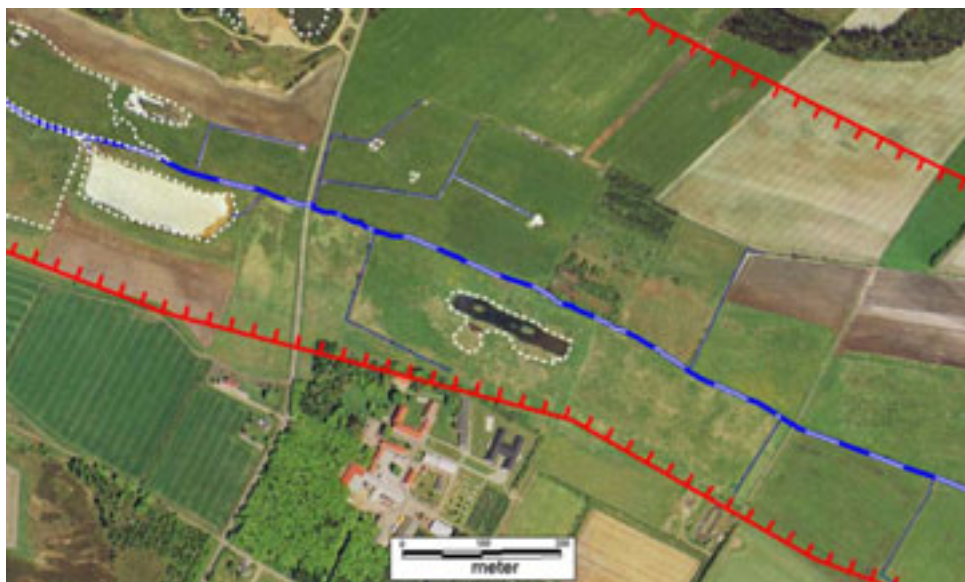
8.8.1 Gludsted Plantage (Ådalstype 3 / Hovedtype 3)

Beskrivelse ved skrivebordet

Med Storåens udspring i Gludsted Plantage repræsenterer denne lokalitet Storåens øvre løb. Ud fra vandløbets nuværende lineære forløb tolkes det at være både reguleret og fordybet, dvs hovedafvandet (figur 8.13). På tilsvarende vis er engen ved grøftning (middel grøftningsdensitet) blevet detailafvandet og engens våde zoner begrænser sig til få anlagte eller oprindelige småsøer på engen. Indholdet af organisk materiale i engen er næsten nul på græsningsarealerne, mens tørveholdigt sand og muligvis tørv, begge med et organisk indhold over 3%, forekommer i de våde engzoner i og omkring de få afløbsløse søer. Ådalens sedimenter domineres af smeltevandslettens proksimale placering, og forventes derfor at bestå af mellemkornet og groft sand. Kontakten fra Ådalsmagasinet til vandløbet gennem vandløbsbunden tolkes derfor som god.

Strømningsveje

Strømningsvejene udgør dels direkte strømning (Q_3) og dels detailafvanding i form af grøftning (Q_4). Nitratreduktionen ved Gludsted Plantage vurderes følgelig som lav. Ud fra drændensiteten vurderes både Q_3 og Q_4 at udgøre 50% af vandføringstilvæksten i vandløbet.



Figur 8.13. Ortofoto af delstrækning ved Gludsted Plantage. På billedet ses Storåen (blå-hvid streg); grøfter på eng og marker (blå streg); ådalens afgrænsning (rød, savtakket streg); samt våde engzoner (hvid, prikket streg).

Feltverificering

Feltverificering bekræftede opfattelsen af, at hovedafvanding og detailafvanding dominerer afstrømningsforholdene ved Gludsted Plantage.

Strømningsveje efter feltverificering

Efter inspicering af størrelsen af grøfternes bidrag til den samlede vandførings-tilvækst, vurderes strømningsvej Q_3 og Q_4 at udgøre henholdsvis 40% og 60% af vandføringstilvæksten.

Strømningsvariant

Strækningen klassificeres derfor som en *Detailafvandet Strømningsvariant*.

Ådalens nitratretention

Det vurderes at nitratreduktionen ved Gludsted Plantage, med undtagelse af småsøerne på engen, er næsten nul.

8.8.2 Lille Yllebjerg (Ådalstype 7 / Hovedtype 7)

Beskrivelse ved skrivebordet

Lille Yllebjerg repræsenterer Storåens midterste løb. Vandløbets slyngningsgrad (figur 8.14), samt de afsnørede, stedvist åbne meanderbuer på engen, indikerer, at vandløbet uforstyrret bugter sig gennem ådalen og kun i ringe grad er reguleret (om overhovedet). Engen og i mindre grad de omkringliggende marker er derimod detailafvandet i form af grøftning (middel grøftningsdensitet). Arealanvendelsen i ådalen udgøres stedvist af græsning med høslet, stedvist af marker. Kun enkelte steder, hvor vandløbet nærmer sig ådalens skræntfod eller afsnørede meanderbuer, flankeres vandløbets brinker af buske og træer. Selvom engens grøftningsdensitet er relativt stor har grøfterne imidlertid ikke afvandet alle dele af engen lige effektivt, hvorfor større og mindre våde områder stadig findes på engen. Det vurderes, engen stedvist er drænet (høj eller mellem drændensitet) og at drænene munder ud enten direkte i vandløbet eller i grøfter, der udmunder i vandløbet. Foruden lavpermeable tørveaflejringer fra tilgroede og/eller begravede afsnørede meanderbuer, så forventes ådalens organiske indhold at variere i forhold til engens fugtighed. Tørv eller tørveholdigt sand (organisk indhold over 3%) forventes at forekomme inden for de våde områder på engen. Ved Lille Yllebjerg har ådalen



Figur 8.14. Ortofoto af delstrækning ved Lille Yllebjerg. På billedet ses Storåen (blå-hvid streg); Grøfter på eng og marker (blå streg); Ådalens afgrænsning (rød, savtakket streg); samt våde engzoner (hvid, prikket streg).

skåret sig ned i Karup Hedeslette (smeltevandsslette). Det forventes, at både det tilgrænsende grundvandsmagasin, samt Ådalsmagasinet, hvor dette ikke består af lavpermeabel tørv fra afsnørede meanderbuer, udgøres af mellem og grovkornede sandede afejringer. Det tolkes derfor, at vandløbet gennem vandløbsbunden generelt set har god hydraulisk kontakt til det tilgrænsende grundvandsmagasin (jævnfør Ådalstype 7 / Hovedtype 7).

Strømningsveje

Strømningsvejenene domineres af diffus grundvandsstrømning til vandløbet direkte gennem vandløbsbunden ($Q_{1, \text{vandløbsbund}}$) og detailafvanding (Q_4) i form af grøftning. Diffus strømning gennem Ådalsmagasinet ($Q_{1, \text{våd engzone}}$) vurderes at forekomme fra de våde områder på engen. Imidlertid er det samlede areal, hvor $Q_{1, \text{våd engzone}}$ vurderes at kunne forekomme beskedent, hvorfor nitratreduktionen ved Lille Yllebjerg tolkes som lille. Ud fra grøftningsdensiteten og den formodede drændensitet, samt de våde områders arealmæssige dækning, vurderes $Q_{1, \text{vandløbsbund}}$ at udgøre 30%, mens Q_4 udgør 50%, og $Q_{1, \text{våd engzone}}$ 20% af vandføringstilvæksten i vandløbet.

Feltverificering

Feltverificering bekræftede opfattelsen af udbredelsen af den våde engzone, samt af at vandløbet meandrerer naturligt. Ligeledes blev grøfternes afvanding af den våde engzone bekræftet. Derimod er engen ikke drænet, hvilket understøttes af identificering af engvandingskanaler, af omtrent en halv til en meter høje og tørre vandløbsbrinker uden dræn, samt af interview.

Strømningsveje efter feltverificering

Eftersom selve engen ikke er drænet, finder detailafvanding af engen kun sted fra de grøfter, der dræner engens våde engzoner. Ud fra den arealmæssige størrelse af engens våde engzone, grøftningsdensiteten og skøn på vandføringen i disse, samt Storåens tørre og relativt høje brinker vurderes $Q_{1, \text{våd engzone}}$ og $Q_{1, \text{vandløbsbund}}$ hver at udgøre 40% af vandføringstilvæksten i vandløbet, mens detailafvandingen (Q_4) reduceres til 20% af vandføringstilvæksten.

Strømningsvariant

Strækningen klassificeres derfor som en *Diffus Strømningsvariant*.

Ådalens nitratreduktion

Det vurderes, at det grundvand, der passerer den våde engzone, svarer til 40% af den samlede vandføringstilvækst i vandløbet. Endvidere vurderes den våde engzone at have et nitratreduktion på 10-97% (tabel 4.1), mens nitratreduktionen for de resterende 60% af vandføringstilvæksten er næsten nul.

8.8.3 Navr Hede (Ådalstype 7 og 5 / Hovedtype 7 og 5)

Beskrivelse ved skrivebordet

Ådalen ved Navr Hede befinder sig på smeltevandssletten mellem Skovbjerg Bakkeø og Møborg Bakkeø. Vandløbet er ligesom ved Lille Yllebjerg meanderende (figur 8.15) og kontakten til ådalens tilgrænsende grundvandsmagasin er god. Grøftningsdensiteten på engene og de tilgrænsende marker samt dræning af engen vurderes at være omtrent som ved Lille Yllebjerg, men ådalen er bredere, og den våde engzone er større. I de våde områder findes der dels tørvegrave, myremalmsgrave og udrænede områder. Foruden lavpermeable tørveaflejringer fra tilgroede og/eller begravede afsnørede meanderbuer, forventes ådalens organiske indhold at variere i forhold til engens fugtighed. Tørv eller tørveholdigt sand (organisk indhold over 3%) forventes at forekomme indenfor de våde områder på engen.



Figur 8.15. Ortofoto af delstrækning ved Navr Hede. På billedet ses Storåen (blå-hvid streg); grøfter på eng og marker (blå streg); ådalens afgrænsning (rød, savtakket streg); samt våde engzoner (hvid, prikket streg).

Strømningsveje

Diffus strømning gennem Ådalsmagasinet vurderes at forekomme fra våde områder nærmest skræntfoden og på selve engen ($Q_{1, \text{våd engzone}}$), hvor grøftning måtte opgives, eller hvor myremalmsgravning og/eller tørvegravning har fundet sted. Det samlede areal, hvor $Q_{1, \text{våd engzone}}$ vurderes at kunne forekomme, er relativt stort. Derfor tolkes nitratreduktionen ved Navr Hede som intermedieært. Ud fra dræningsdensiteten og de våde områders arealmæssige dækning, vurderes $Q_{1, \text{vandløbsbund}}$ at udgøre 25%, $Q_{1, \text{våd engzone}}$ 50%, og Q_4 25% af vandføringstilvæksten i vandløbet.

Feltverificering

Som ved Lille Yllebjerg bekræftede feltverificering udbredelsen af de våde engzoner, samt at vandløbet meandrerer naturligt. Ligeledes blev grøfternes detailafvanding af den våde engzone bekræftet. Foruden de identificerede større våde engzoner, blev der identificeret en mængde mindre udstrømningsområder (med en diameter på 5 m). Det formodes at disse angiver præferentielle udstrømningszoner (kilder) tæt ved vandløbet. Engen er ikke drænet, hvilket understøttes af omtrent en halv til halvanden meter høje og tørre vandløbsbrinker uden dræn, samt af interview.

Strømningsveje efter feltverificering

Selve engen er ikke drænet, så detailafvanding af engen finder kun sted via grøfter, der dræner engens våde engzoner. Ud fra den arealmæssige størrelse af engens våde engzoner, grøftningsdensiteten og skøn på vandføringen i disse, samt Storåens tørre og relativt høje brinker vurderes det, at $Q_{1, \text{våd engzone}}$ udgør 60 %, $Q_{2, \text{kilder}}$ 5%, $Q_{1, \text{vandløbsbund}}$ 20% og Q_4 i form af grøfter 15% af vandføringstilvæksten i vandløbet.

Strømningsvariant

Strækningen klassificeres derfor som en *Diffus Strømningsvariant*.

Ådalens nitratreduktion

Af det tilstrømmende grundvand, passerer ca. 65% den våde engzone eller kilderne tæt ved vandløbsbrinken. For denne tilstrømning er nitratreduktionen 10-97 % 100% (tabel 4.1), mens nitratreduktionen for de resterende 35%, der strømmer til vandløbet på anden vis, er ubetydeligt.

8.9 Sammenfatning

Afprøvning af GOI typologien langs Storåen blev planlagt at skulle foregå i et interaktivt og evaluerende samarbejde mellem forfatteren og to geologer ved Ringkjøbing Amt. Med udgangspunkt i GOI typologien beskrevet af Nilsson et al (2003) skulle klassifikationen langs Storåen inddrage alle typologiens niveauer. Imidlertid viste arbejdet i forbindelse med klassifikation af de sidste to niveauer (Naturlig og Menneskeskabt Variant; nu Strømningsvariant) sig at være specielt tidskrævende. Denne del af klassifikationen blev derfor ikke foretaget interaktivt, men senere alene af forfatteren. Erfaringerne gjort ved afprøvning af GOI typologien, for både den interaktive del og den foretaget alene af forfatteren, kan inddeles i fire punkter:

- GOI typologiens første niveau (Geologisk Aflejringsmiljø; nu sløjfet) og tredje niveau (Tilgrænsende Grundvandsmagasin; nu tilgrænsende hydrogeologisk enhed, der nu indgår som del af Ådalstype) viste sig at være uden selvstændig operationel betydning i typologien.
- Klassifikation af Hovedtype (nu Ådalstype) kan gøres mere gennemskuelig ved at indføre vejledende absolutte intervaller for ådalens bredde, relief og nedskæring.
- Anvendelse af GOI typologien er mere tidskrævende end angivet i Nilsson et al (2003).
- GIS redskaber vil kunne forenkle og forkorte kortlægningsprocessen, samt øge nøjagtigheden af klassifikationen og den senere parameterisering af identificerede Strømningsvarianter.

9 Afprøvning af GOI typologi på et leret opland

9.1 Indledning

Generelle karakterisering

Under den generelle karakterisering i basisanalysen, der finder sted i 2004, skal:

- Grundvandsmagasiner, der har kontakt med overfladevandet identificeres og afgrænses.

Arbejdsopgaver knyttet hertil består således i:

- Kortlægning af den geologiske opbygning i oplandet.
- Afgrænsning af grundvandsmagasiner, der har direkte kontakt (fysisk nærhed) til overfladevand.

Metoder til afgrænsning af grundvandsmagasiner er nærmere beskrevet i Miljøstyrelsen (2004).

Videregående karakterisering

I de oplande, hvor der er kvantitative eller kemiske problemer i overfladevandet, der kan være forårsaget af påvirkninger fra grundvandstilstrømningen, skal der foretages en videregående karakterisering af disse *truede grundvandsmagasiner*, hvorfra tilstrømningen stammer (Miljøstyrelsen, 2004). Under den videregående karakterisering, der finder sted efter 2004, skal:

- Udvekslingen karakteriseres nærmere med henblik på at analysere problemets omfang nærmere.
- Mulige foranstaltninger identificeres, der kan sættes i værk i indsatsprogrammet for at opnå god tilstand i grundvandsforekomsten.

Arbejdsopgaver knyttet til den videregående karakterisering består således i at udarbejde:

- Et skøn over udvekslingens retning og omfang mellem de truede grundvandsmagasiner og overfladevandet.
- Beskrive vandkvaliteten i udvekslingen, hvor dette er relevant.

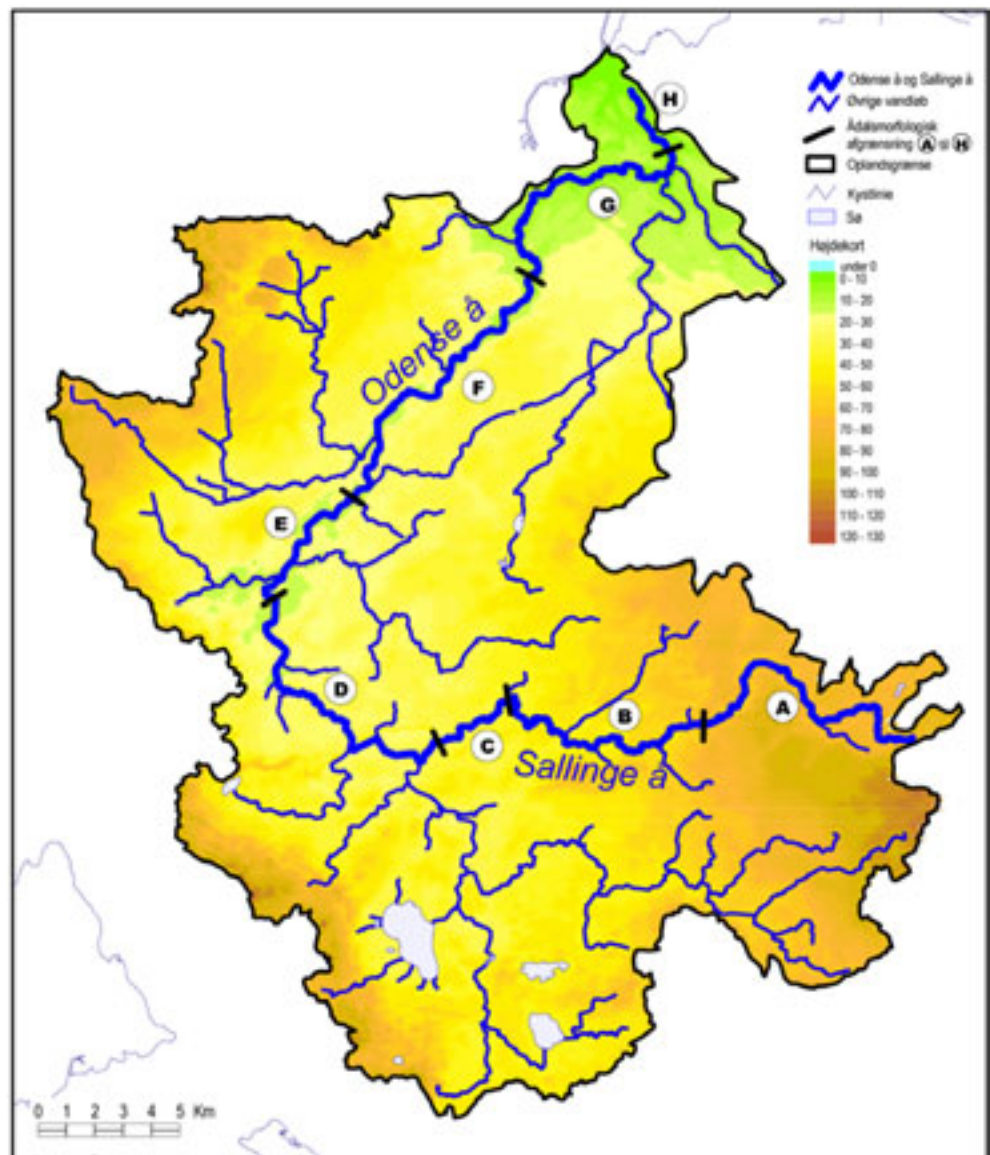
Arbejdsopgavernes relation til GOI typologien

Disse to faser af karakteriseringen af grundvand / overfladevand interaktion i basisanalysen er begge omfattet af analyser, der foretages i forbindelse med klassifikation af *Ådalstype* i GOI typologien. Arbejdet udføres under karakterisering af den Tilgrænsende Hydrogeologiske Enhed.

Forårsages kvalitetsproblemerne i overfladevandet af nitrat, kan *Strømningsvarianterne* i GOI typologien herefter anvendes til at analysere, hvilke tiltag, der kan tages i anvendelse i ådalen for de vandløbsstrækninger, der modtager nitratholdigt grundvand.

9.2 Odense Å oplandet

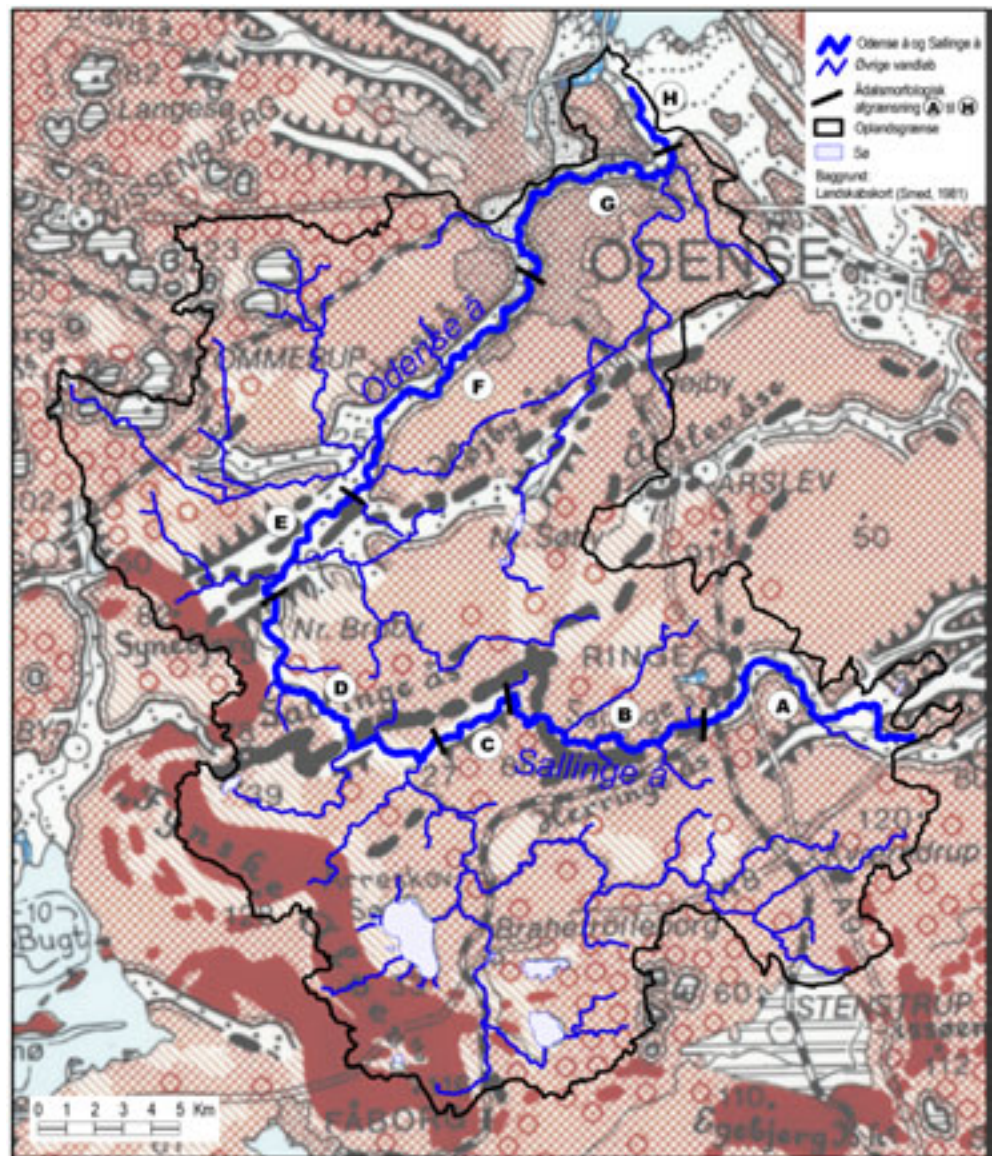
Afprøvning af GOI typologien på et leret opland er gennemført på en anden måde end afprøvningen af typologien på det sandede opland, Storå, der er beskrevet i kapitel 8. Odense Å oplandet blev valgt som repræsentant for et *morænelandskab*. I Odense Å oplandet har Fyns Amt netop gennemført en foreløbig basisanalyse (Fyns Amt, 2003), hvori der blandt andet er taget fat på interaktionen mellem grundvand og overfladevand. Fyns Amt blev præsenteret for GOI typologien og deltog herefter i diskussioner og fremsendelse af en del af det datamateriale, der er anvendt under afprøvningen. Amtet har af tidsmæssige årsager ikke direkte deltaget i afprøvningen af typologien, men kommenteret forløbet undervejs og under ådalsworkshoppen.



Figur 9.1. Højdekort over Odense Å oplandet med vandløb. Med fed streg er de klassificerede vandløb vist. A - H angiver ådalsmorfologiske delstrækninger.

I Odense Å oplandet er Sallinge Å, der er et af tilløbene til Odense Å samt selve hovedløbet af Odense Å klassificeret helt ud til udløbet i Odense Fjord. Klassifikationen følger den endelige typologi, præsenteret i kapitel 2. Af tidsmæssige årsager er klassifikationen kun gennemført på Landskabstype og Ådalstype niveau. Til gengæld er der brugt megen tid på at udvikle og afprøve GIS redskaber til brug for klassifikation af Ådalstyper. Disse metoder er udviklet og afprøvet i GIS systemet ARCVIEW. Klassifikationen følger således metoderne beskrevet i kapitel 5.

Figur 9.1 viser et højdekort over Odense Å opland med tilhørende vandløb. Den klassificerede vandløbsstrækning, vist med en fed streg, udgør en strækning på samlet 61 km.



Figur 9.2. Udsnit af Landskabskort over Danmark (Smed, 1981), Odense Å oplandet samt vandløb. Med fed blå streg er de klassificerede vandløb markeret. A til H illustrerer ådalsmorfologiske delstrækninger.

9.3 Klassifikation af Landskabstype

Den regionale geomorfologiske opbygning er vurderet ud fra Landskabskort over Danmark (Smed, 1981), der er illustreret i figur 9.2. Her er tillige vist Odense Ås topografiske opland samt den vandløbsstrækning, der er klassificeret ifølge GOI typologien. Som det fremgår af figur 9.2 gennemløber det klassificerede vandløb overvejende et leret morænelandskab (krydsskraveret), der i visse områder har dødisrelief (cirkler). Store dele af Sallinge Å løber desuden langs Herringe ås og Sallinge Ås (kraftig løber sort streg). På den allernederste strækning løber Odense Å endelig på grænsen mellem et morænelandskab og en smeltevandsslette (prikket). Landskabstypen klassificeres på grundlag heraf som *morænelandskab*.

9.4 Klassifikation af Ådalstype

Informationer, der skal anvendes for at klassificere Ådalstype kræver kendskab til ådalens geomorfologi, Ådalsmagasinets udbredelse, samt den Tilgrænsende Hydrogeologiske Enheds permeabilitet og størrelse.

9.4.1 Ådalens geomorfologi

Ådalsmorfologiske delstrækninger

De klassificerede vandløbsstrækninger er opdelt i ådalsmorfologiske delstrækninger (A til H) ligeledes ifølge Landskabskort over Danmark (Smed, 1981). Disse delstrækninger er beskrevet i tabel 9.1 og vist på figur 9.2. I det følgende henvises hertil, når klassifikationen gennemgås.

Tabel 9.1. Beskrivelse af ådalsmorfologiske delstrækninger.

Ådals-Morfologisk delstrækning	Beskrivelse	Bredde (m)	Relief (m)	Længde (km)
A	Smeltevandsdal i leret morænelandskab.	300 - 1500	7.5 - 15	4.5
B	Dal i leret morænelandskab med dødisrelief og ås.	25 - 100	5 - 10	6
C	Tunneldal i leret morænelandskab med dødisrelief og ås.	100 - 600	5 - 10	8
D	Dal i leret morænelandskab med dødisrelief.	100 (1200)	2.5 - 5	9
E	Tunneldal (med terrasse) i sandet og leret morænelandskab.	100 - 1500	5 - 7.5	6.5
F	Smeltevandsdal (med terrasse) i leret morænelandskab.	100 - 200	5 - 10	13
G	Smeltevandsdal i leret morænelandskab.	100 - 200	5 - 7.5	10
H	Dal på grænsen mellem leret morænelandskab og smeltevandsslette.	100 - 500	2.5 - 7.5	4

Bredde og relief

På grundlag af højdekurver (figur 9.4 til 9.8) er ådalens bredde (fra skræntfod til skræntfod) og relief (ådalens skrænthøjde) aflæst og angivet i tabel 9.1. Her er endvidere angivet længden af de ådalsmorfologiske delstrækninger.

Ådalens *relief* er således størst i udspringsområdet delstrækning (A), hvor det er op til 15 m højt. Herefter mindskes relieffet ned mod udløbet i fjorden, hvor det på den allernederste strækning kun er 2.5 m. I delstrækning E og F udgør den nutidige ådal den nederste terrasse i en større dalform. Det samlede relief for den større dalform er for disse strækninger 15-30 m.

Ådalens *bredde* er ligeledes størst i udspringsområdet, hvor den når helt op i 1500 m. Ådalen er smallest i delstrækning B, hvor den kun er 25 m bred. Bredden ligger imidlertid mellem 100 og 200 m (delstrækning D, F og G) langs hovedparten (32 km) af de klassificerede vandløb. I delstrækning E og F er den større dalforms bredde henholdsvis 2500-3500 m og 100-1000 m.

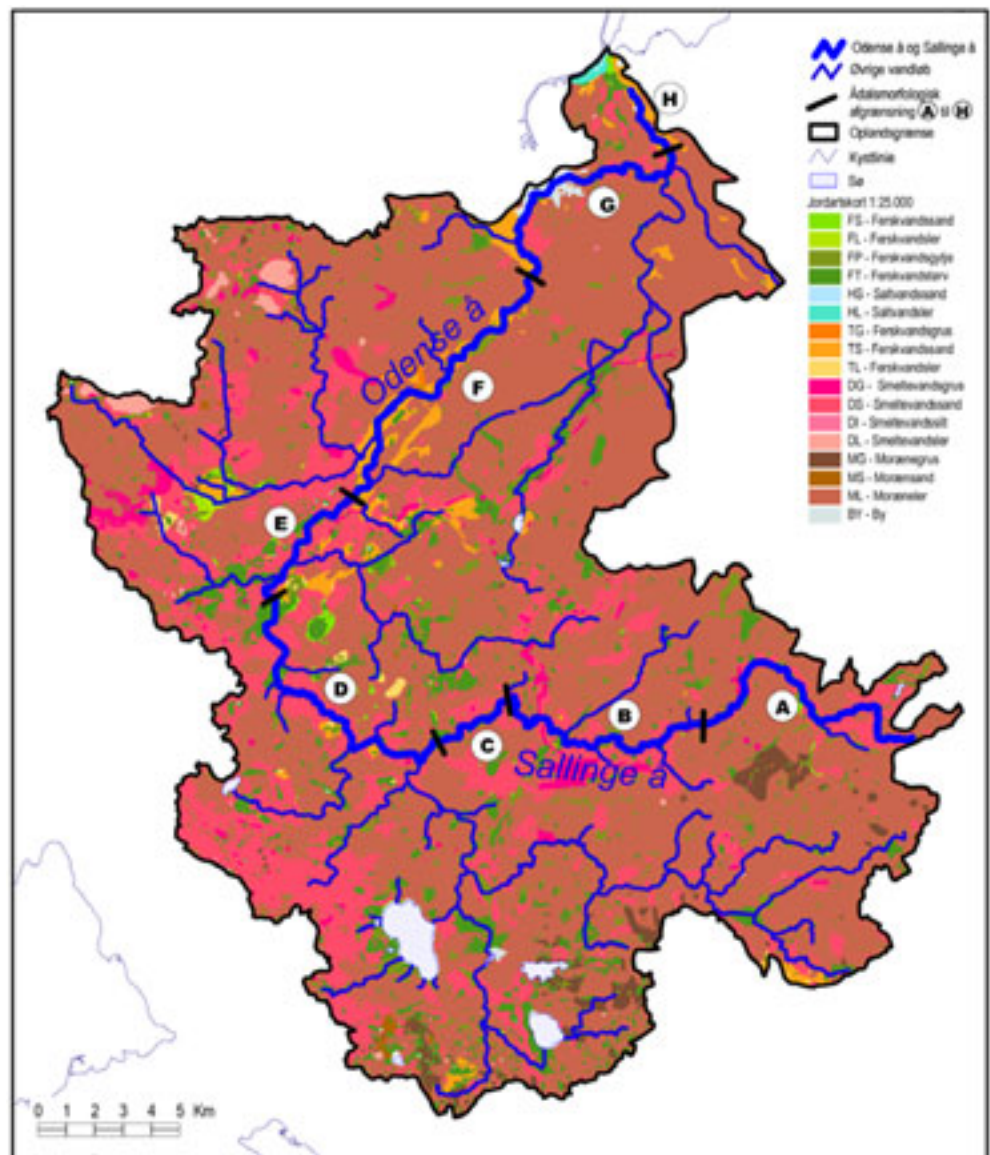
9.4.2 Afgrænsning af Ådalsmagasin

Geografisk afgrænsning

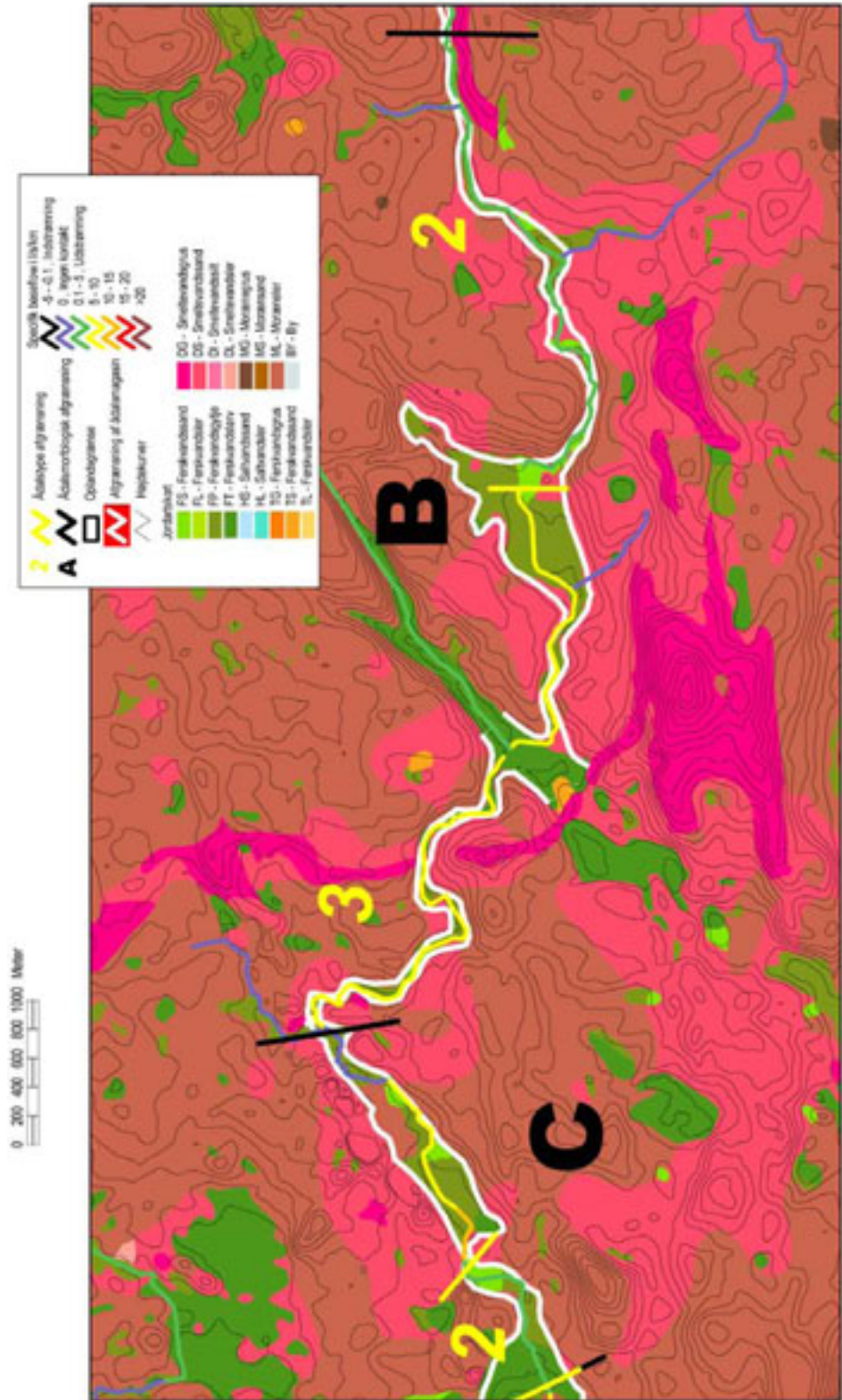
Ådalsmagasinet er afgrænset geografisk fra skræntfod til skræntfod af den ådal, der hører til det nuværende vandløb. Afgrænsningen er foretaget på grundlag af en samlet tolkning af:

- Topografiske kurveplaner (højdekurver)
- Danmarks Digitale Jordartskort i 1: 25.000.

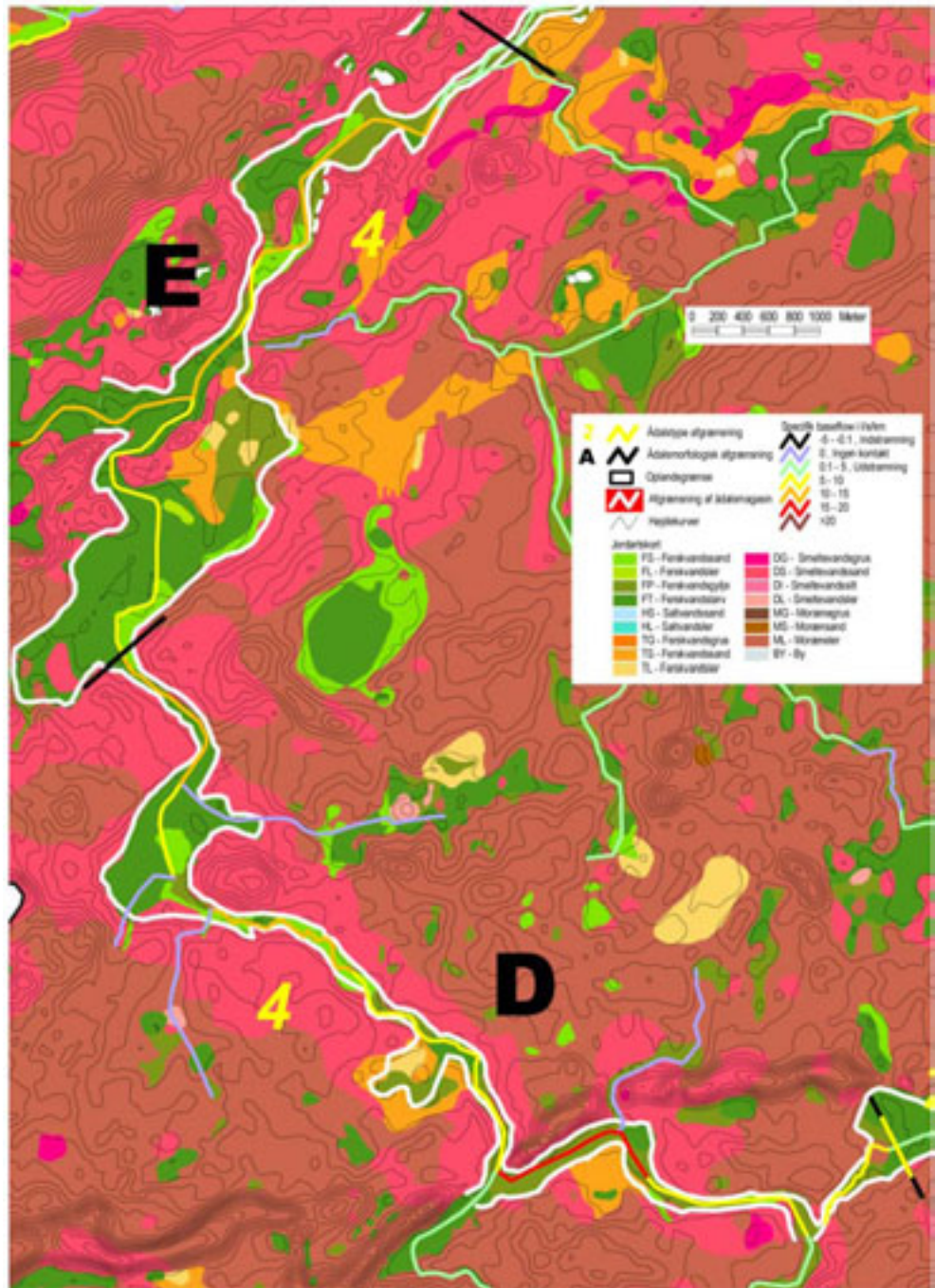
Figur 9.3 viser et jordartskort over hele Odense Å oplandet. Figur 9.4 til 9.8 viser detailkort langs de klassificerede vandløb fra udspringet af Sallinge Å til udløbet af Odense Å.



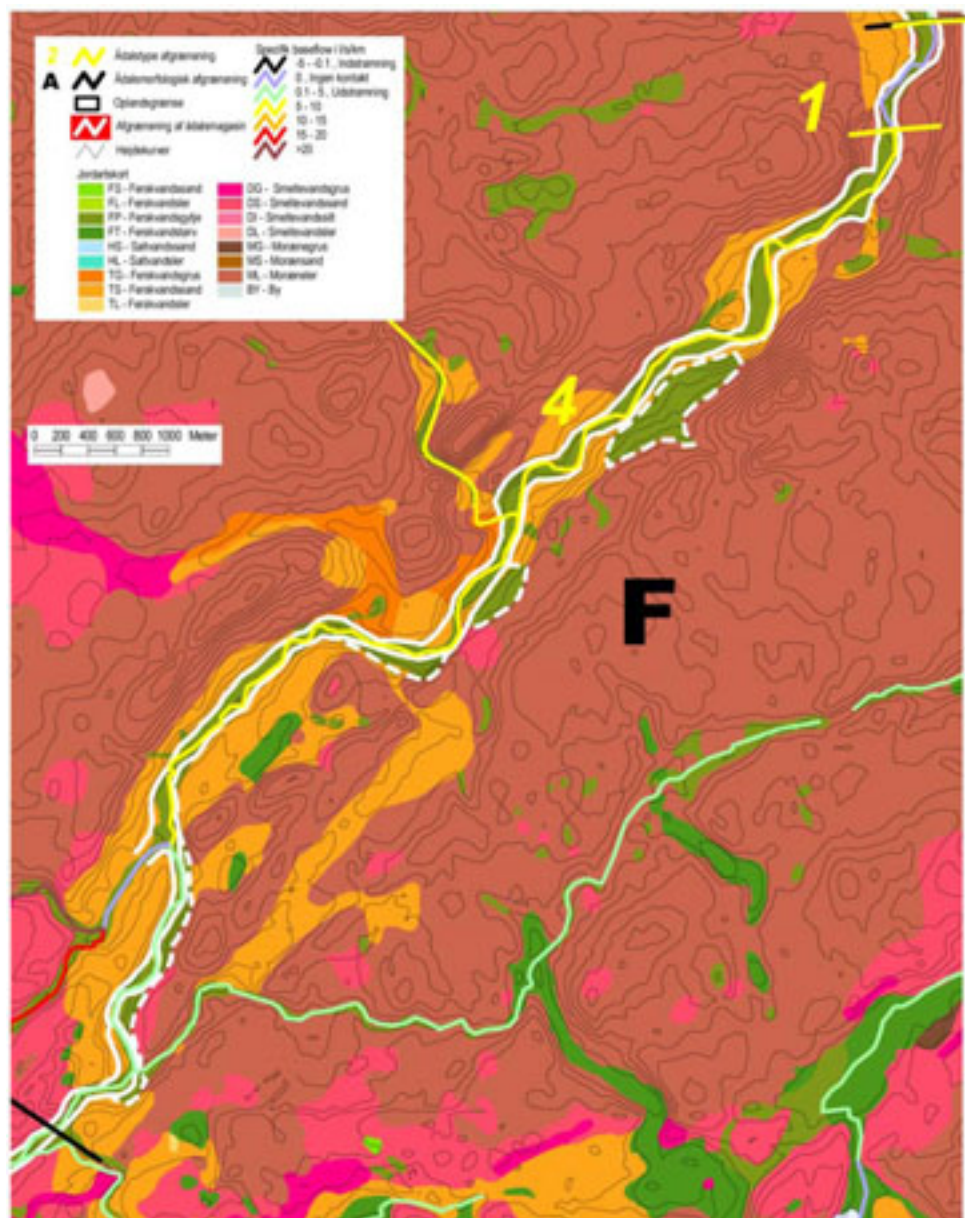
Figur 9.3. Jordartskort (1:25.000) over Odense Å oplandet med tilhørende vandløb og ådalsmorfologiske afgrænsninger (A til H).



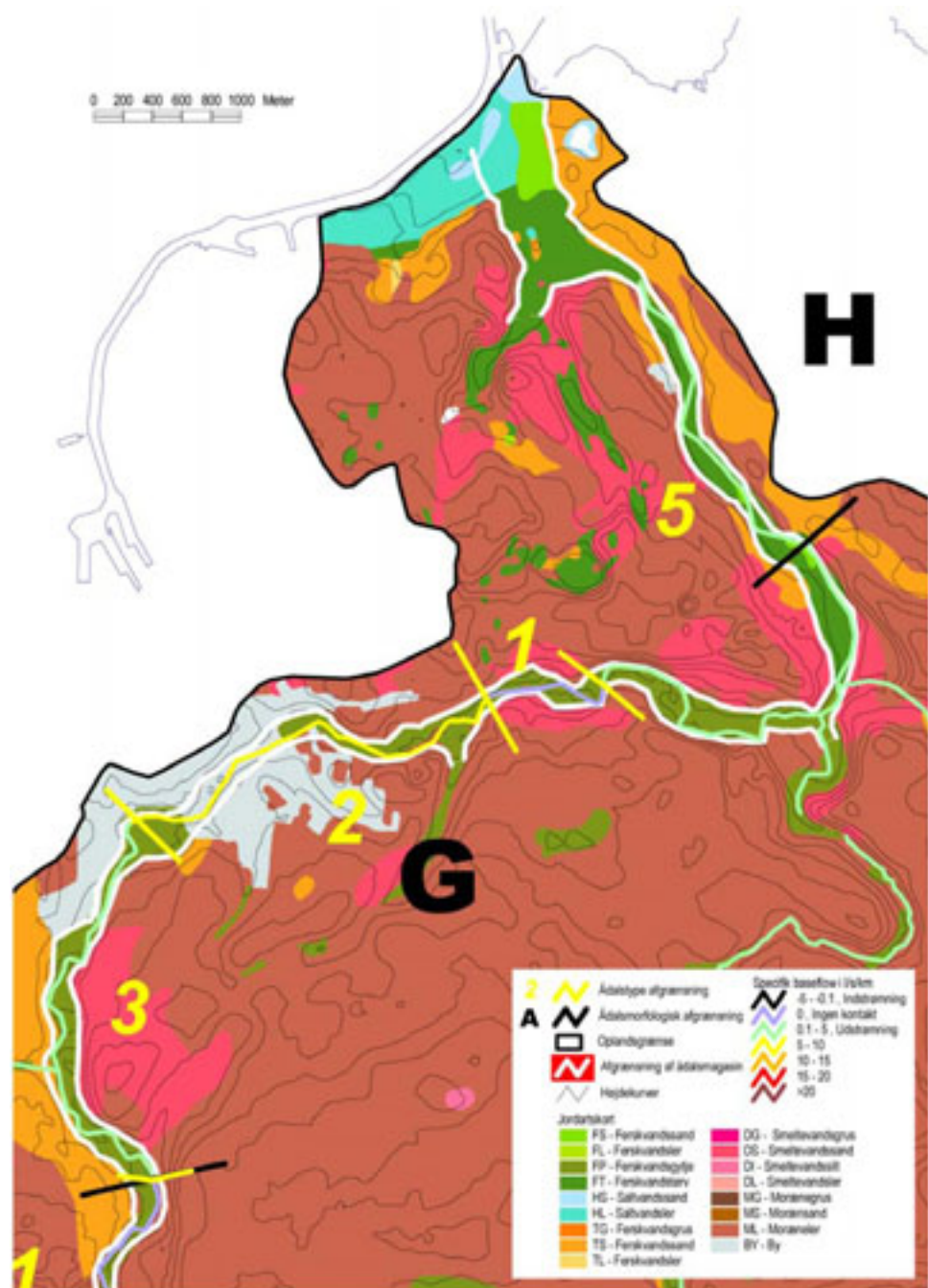
Figur 9.5. Detailjordartskort (1:25.000) over ådalsmorfologisk strækning B og C. Højdekurver er angivet med 2.5 m's ækvistand. Hvide linier angiver afgrænsning af Ådalmagasin. Vandløbets farve angiver specifik baseflow afstrømning. Gule tal og streger angiver afgrænsning af Ådalstyper.



Figur 9.6. Detailjordartskort (1:25.000) over ådalstypologisk strækning D og E. Højdekurver er angivet med 2.5 m's ækvivalens. Hvide linier angiver afgrænsning af Ådalsmagasinet. Vandløbsets farve angiver specifik baseflow afstrømning. Gule tal og streger angiver afgrænsning af Ådalstyper.



Figur 9.7. Detailjordartskort (1:25.000) over ådalsmorfologisk strækning F. Højdekurver er angivet med 2.5 m's ækvivalens. Fuldt optrukne hvide linier angiver afgrænsning af Ådalsmagasin. Stiplede hvide linier angiver afgrænsning af vældmoser i ådalsskrænten. Vandløbets farve angiver specifik baseflow afstrømning. Gule tal og streger angiver afgrænsning af Ådalstyper.



Figur 9.8. Detailjordartskort (1:25.000) over ådalsmorfologisk strækning G og H. Højdekurver er angivet med 2.5 m's ækvidistance. Hvide linier angiver afgrænsning af Ådalsmagasinet. Vandløbets farve angiver specifik baseflow afstrømning. Gule tal og streger angiver afgrænsning af Ådalstyper.

Afgrænsningen er primært foretaget ud fra *højdekurver*, sekundært ud fra *jordart*. Som det fremgår af figur 9.4 til 9.8 ligger der langt overvejende postglaciale ferskvandsaflejringer (FS, FL, FP og FT) øverst i Ådalsmagasinet, men diluvialt sand / smeltevandssand (DS), moræner (ML), og sen-glaciært ferskvandssand (TS) er også repræsenteret, dog i meget mindre udstrækning. Opmærksomheden henledes på, at jordartskortet viser jordarten i 1 meters dybde. Der kan således godt ligge postglaciale ferskvandsaflejringer over de sidstnævnte jordarter også. Blandt de postglaciale ferskvandaflejringer er ferskvandsgytje dominerende i strækning A, B, C, F og G, mens ferskvandstørv er dominerende i strækning E og H.

Målebordsblade / generalstabskort har ikke været anvendt under denne klassifikation.

Dybde afgrænsning

Dybden af Ådalsmagasinet blev søgt kortlagt ud fra boringer i ådalen udtrukket fra Jupiter databasen ved GEUS. På grund af manglende data har det ikke været muligt at fastlægge dybden. Imidlertid kan det ud fra jordartskortet tolkes, at ådalsmagasinet, hvor der er postglaciale ferskvandsaflejringer, mindst går ned til 1 meters dybde i langt hovedparten af de klassificerede ådale.

9.4.3 Tilgrænsende hydrogeologisk enhed

De arbejdsopgaver, der er knyttet til den *generelle karakterisering* i basisanalysen (Miljøstyrelsen, 2004) er beskrevet i de følgende to afsnit:

- Kortlægning af geologisk opbygning i oplandet.
- Afgrænsning af grundvandsmagasiner med direkte kontakt til overfladevand.

9.4.3.1 *Geologisk opbygning*

Den geologiske opbygning i Odense Å oplandet består overordnet af skiftende lag af moræneler og smeltevandssand (Dahl et al, 1998). Til brug for en mere detaljeret beskrivelse af den geologiske opbygning i nærheden af de klassificerede ådale er der anvendt følgende materiale:

- Udtræk af boringer i ådalen fra Jupiter databasen ved GEUS
- Danmarks Digitale Jordartskort (1:25.000)
- Geologisk kortlægning udført af Fyns Amt (2000).

Dybereliggende geologiske lag

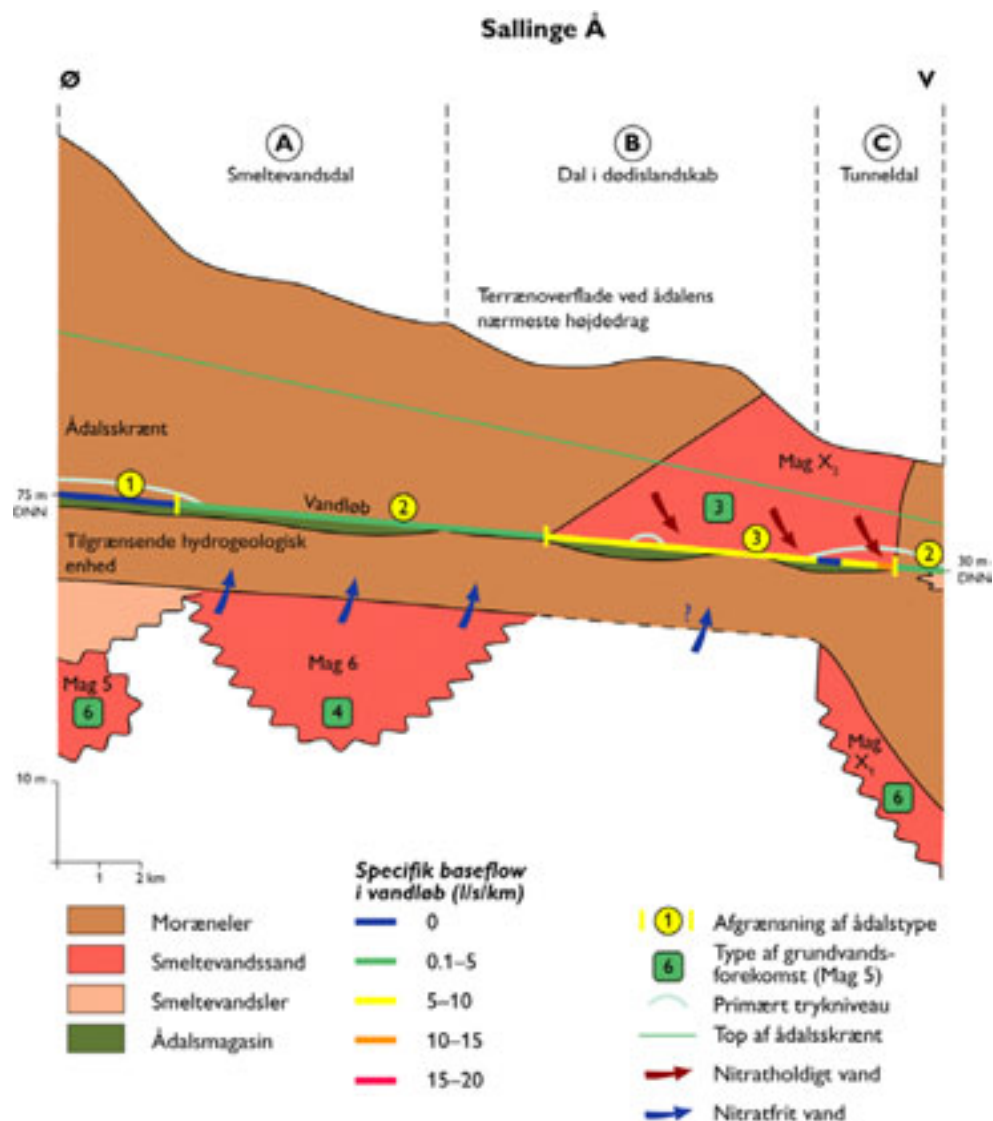
På basis af dette materiale er der langs de klassificerede ådale opstillet en geologisk model, der fremgår af figur 9.9 til 9.11. De dybereliggende geologiske lag (beliggende under ådalens terrænniveau) er tolket ud fra boringer i Jupiter databasen og kortlægningen foretaget af Fyns Amt (2000).

Overfladenære geologiske lag

De overfladenære geologiske lag (beliggende over ådalens terrænniveau) er tolket på grundlag af jordartskort. Kortet viser jordarterne i det snit terrænoverfladen skærer gennem de skiftende lag af primært moræneler og smeltevandssand, der ligger i oplandet. I ådalenes skrænter (eller helt op til det nærmeste højdedrag) kan beliggenheden af de overfladenære grundvandsmagasiner, der ofte består af smeltevandssand / DS) således kortlægges. Grundvandsmagasinerne kan dog også bestå af andre højpermeable jordarter (DG, TG, TS samt HS). Det fremgår af jordartskortet for hele oplandet, figur 9.3, at overfladenære grundvandsmagasiner, der har direkte kontakt til ådalene, ifølge denne enkle metode kan kortlægges langs store dele af vandløbsstrækningerne i oplandet. For de klassificerede vandløb er dette foretaget ud fra detailjordartskortene vist i figur 9.4 til 9.8.

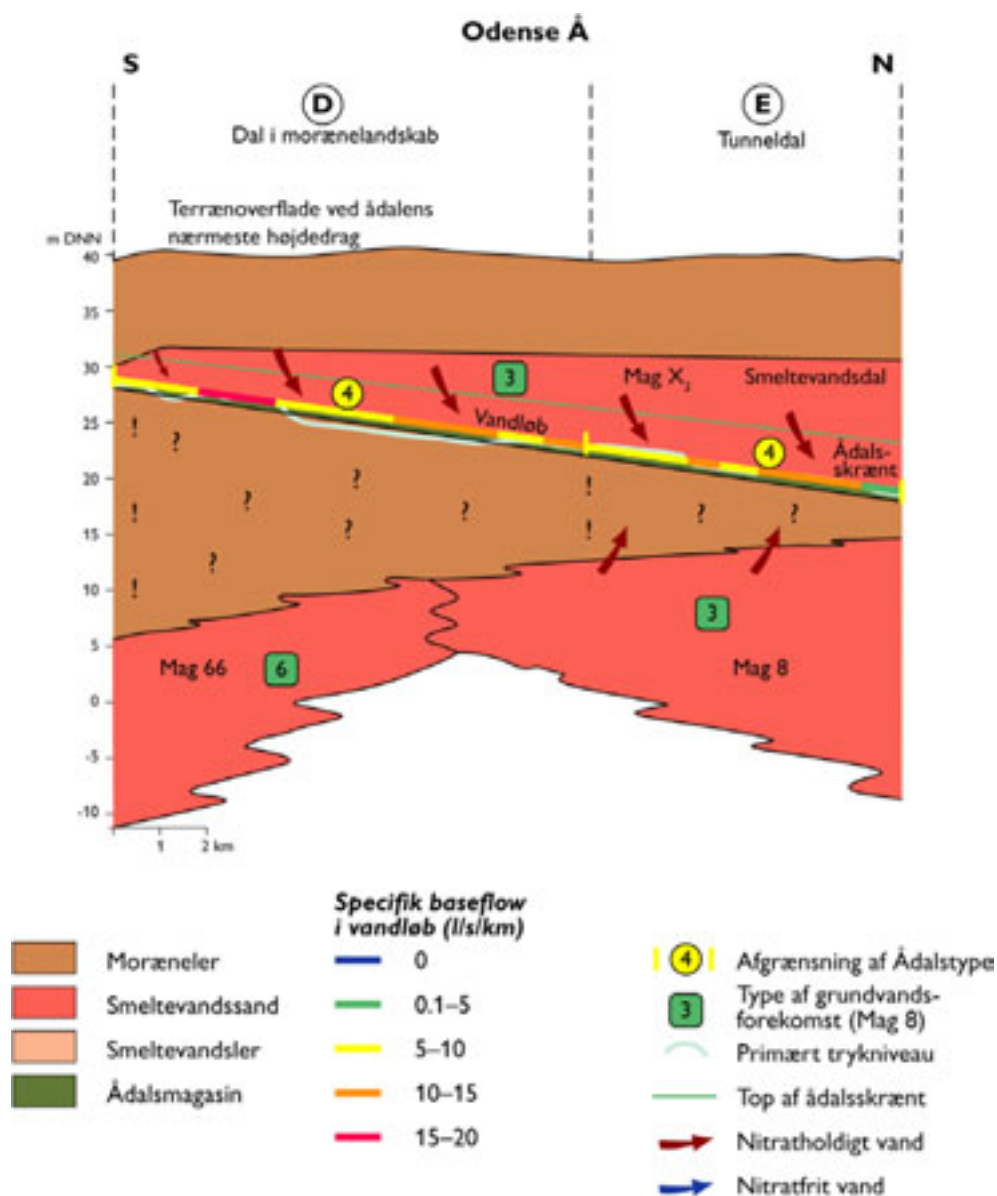
Geologisk profil

I den geologiske model er der skelnet mellem moræneler, smeltevandssand, smeltevandsler og sedimentter i Ådalsmagasinet. Vandløbet og ådalen ligger på figur 9.9. til 9.11 midt i den geologiske profil, der går helt op til terrænoverfladen ved ådalens nærmeste højdedrag. Profilerne er optegnet på denne måde for også at kunne illustrere overfladenære grundvandsmagasiner, der grænser op til ådalen.



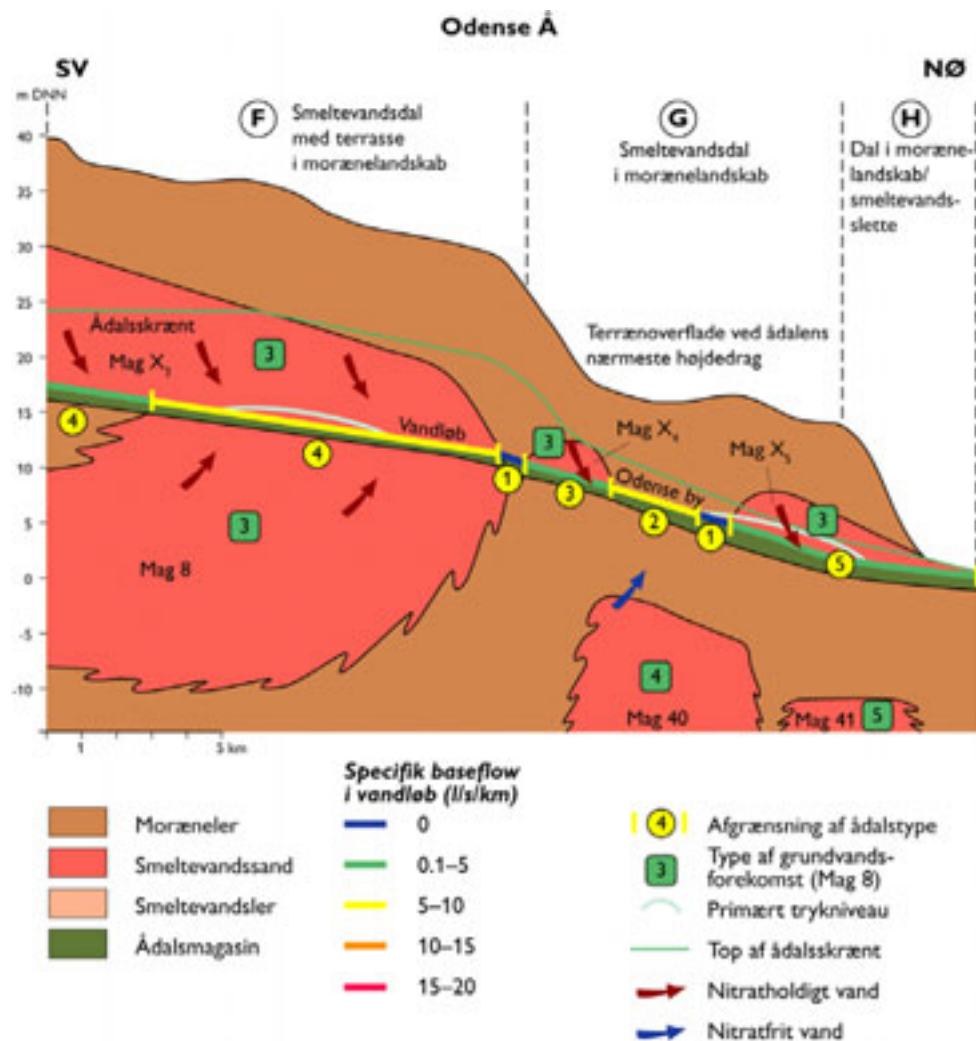
Figur 9.9. Skitse af geologisk opbygning langs Sallinge Å (ådalsmorfologisk delstrækning A, B og C). Vandløbet illustreres af den flerfarvede linie midt i profilet. Farverne angiver den specifikke baseflow afstrømning i vandløbet. Toppen af ådalsskrænten og det primære trykniveau i de dybe grundvandsmagasiner er også illustreret, ligesom afgrænsning af Ådalstyper og klassifikation af typer af grundvandsforekomster ifølge tabel 1.1. Endelig skelnes der mellem, om det tilstrømmende grundvand er nitratholdigt eller nitratfrit.

Det fremgår af figur 9.9, at *Sallinge Å* (delstrækning A, B og C) er underlejret af en regional, lavpermeabel hydrogeologisk enhed (moræneler) af ca 10 meters mægtighed. Langs dele af strækning B og C grænser er regional, højpermeabel hydrogeologisk enhed (smeltevandssand) op til ådalen ovenfor denne. Langs strækning A, samt de øvrige dele af strækning B og C, er den Tilgrænsende Hydrogeologiske Enhed ligeledes lavpermeabel (moræneler) ovenfor vandløbet.



Figur 9.10. Skitse af geologisk opbygning langs den midterste del af Odense Å (ådalgeomorfologisk delstrækning D og E). Vandløbet illustreres af den flerfarvede linie midt i profilet. Farverne angiver den specifikke baseflow afstrømning i vandløbet. Toppen af ådalsskrænten og det primære trykniveau i de dybe grundvandsmagasiner er også illustreret, ligesom afgrænsning af Ådalstyper og klassifikation af typer af grundvandsforekomster ifølge tabel 1.1. Endelig skelnes der mellem, om det tilstrømmende grundvand er nitratholdigt eller nitratfrit.

Den midterste del af Odense Å (delstrækning D og E) er ligeledes underlejret af en regional lavpermeabel hydrogeologisk enhed (moræneler) der har en mægtighed varierende mellem ca 20 og 5 m. Mægtigheden er imidlertid kun kendt, hvor der er markeret med udråbstegn på figur 9.10. Ovenfor vandløbet tilgrænses ådalen langs både delstrækning D og E af en regional, højpermeabel hydrogeologisk enhed (smeltevandssand).



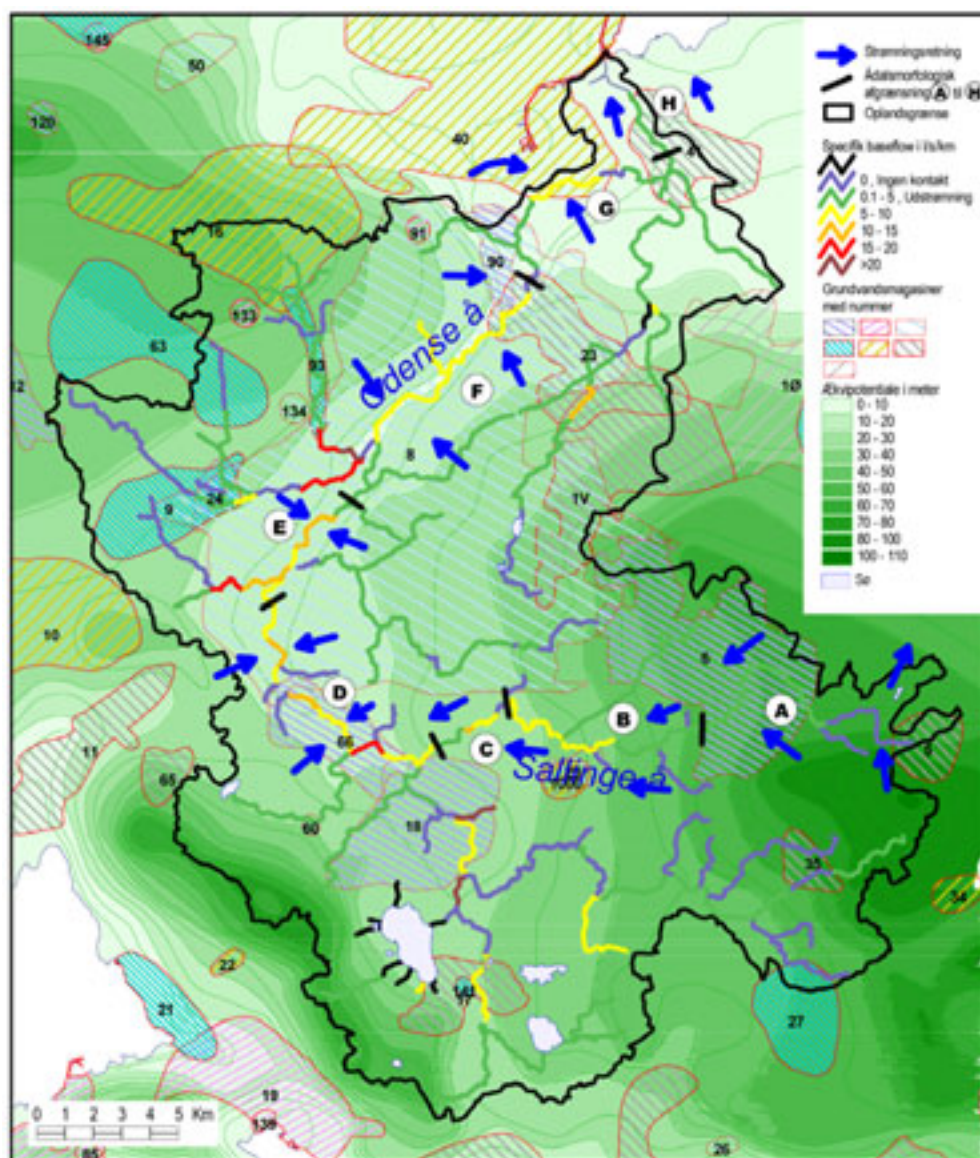
Figur 9.11. Skitse af geologisk opbygning langs den nedre del af Odense Å (ådalgeomorfologisk delstrækning F, G og H). Vandløbet illustreres af den flerfarvede linie midt i profilet. Farverne angiver den specifikke baseflow afstrømning i vandløbet. Toppen af ådalsskrænten og det primære trykniveau i de dybe grundvandsmagasiner er også illustreret, ligesom afgrænsning af Ådalstyper og klassifikation af typer af grundvandsforekomster ifølge tabel 1.1. Endelig skelnes der mellem, om det tilstrømmende grundvand er nitratholdigt eller nitratfrit.

Langs den nederste del af Odense Å (delstrækning F, G og H) varierer fordelingen af Tilgrænsende Hydrogeologiske Enheder mere. Langs delstrækning F tilgrænses ådalen langt overvejende både under og ovenfor ådalen af regionale, højpermeable hydrogeologiske enheder (smeltevandssand). Langs delstrækning G underlejres ådalen af en regional lavpermeabel hydrogeologisk enhed (moræneler), mens den ovenfor tilgrænses af skiftevis høj- og lavpermeable hydrogeologiske enheder. Vandløbet passerer på denne strækning gennem Odense by. På den nederste delstrækning H underlejres ådalen ligeledes af en lavpermeabel hydrogeologisk enhed (moræneler) af ca 10 meters mægtighed, mens den ovenfor tilgrænses af en mindre, højpermeabel enhed (smeltevandssand).

9.4.3.2 Afgrænsning af grundvandsmagasiner med direkte kontakt til overfladevand

I forbindelse med basisanalysen af vandområdedistrikter (Miljøstyrelsen, 2004) skal både overfladenære og dybereliggende grundvandsmagasiner af væsentlig størrelse med direkte kontakt til overfladevand afgrænses, om nødvendigt opdeles i grundvandsforekomster, og klassificeres ifølge typologien herfor (tabel 1.1), blandt andet efter deres kontakt med overfladevand (jævnfør kapitel 1 og 5). Metoder til afgrænsning af grundvandsmagasiner er beskrevet i Miljøstyrelsen (2004).

Fyns Amt (2000) har kortlagt og nummereret de regionale, *dybereliggende grundvandsmagasiner*, der er aktuelle for grundvandsindvinding til drikkevandsforsyning. Deres geografiske afgrænsning fremgår af figur 9.12. De magasiner der kan have direkte kontakt med de klassificerede vandløb er magasin 5, 6, (18 ?), 66, 8, 40 og 41. På figur 9.9 til 9.11 er disse magasiners udbredelse i dybden vist. På figur 9.9 fremgår et dybereliggende magasin X_1 , der ikke er kortlagt af Fyns Amt. Dette kan muligvis være en del af magasin 66.



Figur 9.12. Afgrænsning af dybereliggende grundvandsmagasiner ifølge Fyns Amt (2000) i Odense Å oplandet, samt ækvipotentialekurvekort for disse. A til H angiver ådalsmorfologiske delstrækninger. Vandløbenes farveangivelse illustrerer specifik baseflow afstrømning.

Beliggenheden og afgrænsningen i dybden af de betydende *overfladenære grundvandsmagasiner*, der tilgrænser de klassificerede vandløb fremgår ligeledes af figur 9.9 til 9.11. Disse magasiner er navngivet som magasin X₂, X₃, X₄ og X₅.

9.4.3.3 Retning og omfang af udveksling mellem grundvandsmagasiner og overfladevand

I de følgende afsnit gennemgås arbejdsopgaver knyttet til den *videregående karakterisering* af grundvandsmagasiner i basisanalysen (Miljøstyrelsen, 2004), bestående i at udarbejde et *skøn over udvekslingens retning og omfang*. Dette er udført på grundlag af følgende kortmateriale:

- Ækvipotentialekurvekort for dybereliggende magasiner.
- Kort over potentielle ind- og udstrømningsområder for dybereliggende magasiner.

- Kort over absolut baseflow afstrømning i vandløb.
- Kort over specifik baseflow afstrømning i vandløb.

Udstrømningsområder for dybereliggende og overfladenære grundvandsmagasiner

Hydrauliske potentialer er oftest målt i de dybereliggende grundvandsmagasiner (primært trykniveau). Da det ikke er sikkert, at der er hydraulisk kontakt mellem de forskellige grundvandsmagasiner, bør de hydrauliske potentialer ideelt set kun relateres til det grundvandsmagasin, de er målt i. Et samlet *ækvipotentialkurvekort* over hele vandløbsoplandet (figur 9.12) kan dog give et billede af det overordnede strømningsmønster i de dybereliggende magasiner, og dermed give indblik i udvekslingen mellem disse magasiner og overfladevandet.

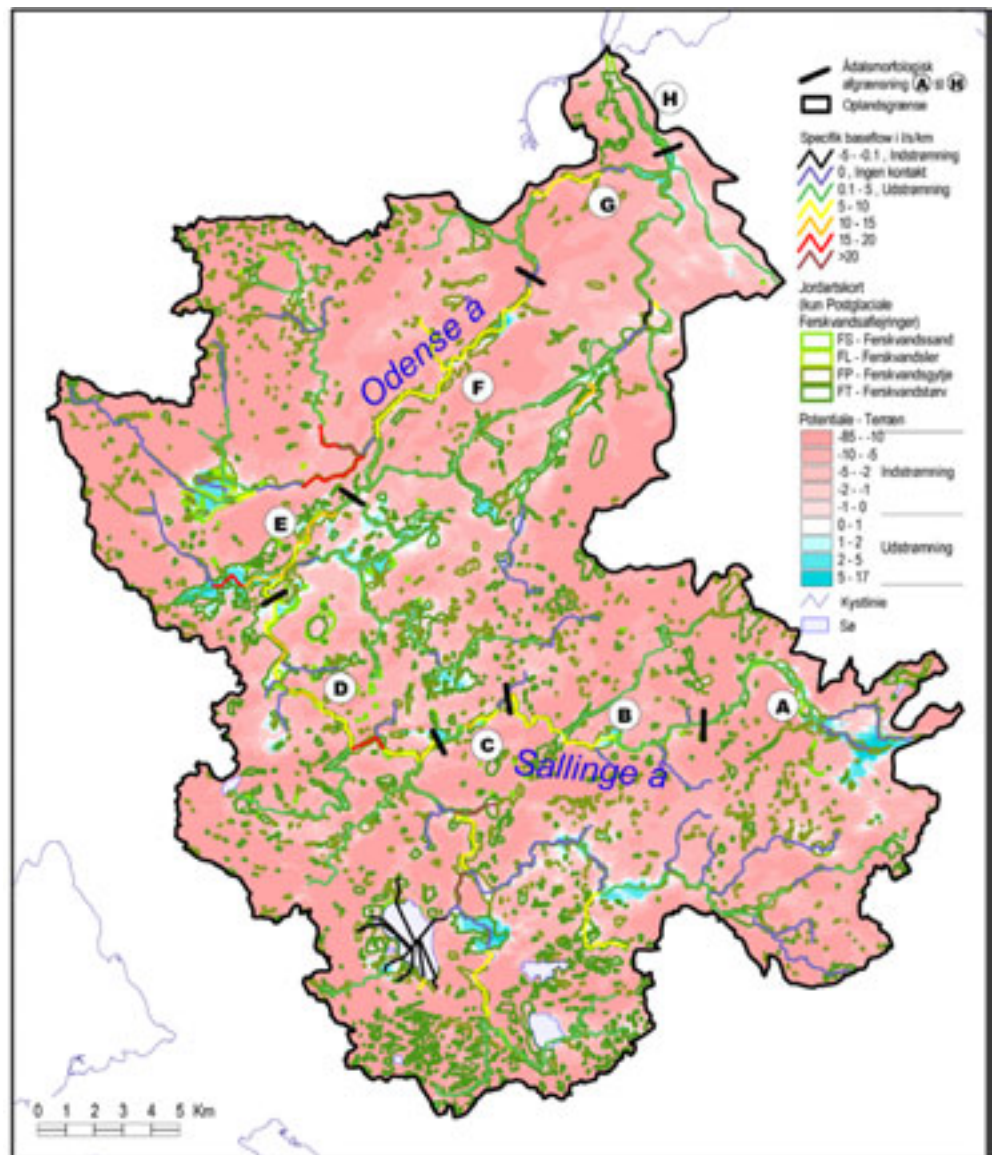
Ækvipotentialkurver, der løber *parallelt* med et vandløb, er således indikatorer for, at der er en god hydraulisk kontakt mellem de dybereliggende, regionale grundvandsmagasiner og vandløbet, da grundvandet her løber hen mod vandløbet. Disse vandløb, der ofte udgør hovedløbet af et vandløbssystem, er regionale udstrømningsområder for grundvand. Af figur 9.12 fremgår det, at denne situation også gør sig gældende i Odense Å oplandet for delstrækning D, E, F og G, der er regionalt udstrømningsområde for de dybereliggende grundvandsmagasiner, der har kontakt med vandløbet. Disse magasiner er magasin 66, magasin 8 og magasin 40.

Modsat er ækvipotentialkurver, der løber *vinkelret* på et vandløb, indikatorer for en dårlig hydraulisk kontakt mellem de dybe grundvandsmagasiner og vandløbet, da grundvandet her løber langs vandløbet. Disse vandløbsstrækninger, der ofte ligger i den øvre eller nedre ende af et vandløbssystem, kan derfor være lokale udstrømningsområder for mere overfladenære grundvandsmagasiner. Denne situation findes tilnærmelsesvis også i Odense Å oplandet, for delstrækning A, B, C og H. For delstrækning A er der dog en vis tilstrømning fra det dybereliggende magasin 6 (figur 9.9).

De overfladenære tilstrømninger træffes ifølge figur 9.9. til 9.11 i delstrækning B og C, hvor den kommer fra magasin X_2 , i delstrækning D, E og F, hvor den kommer fra det regionale, overfladenære magasin X_3 , og i delstrækning G og H, hvor den kommer fra de mindre magasiner X_4 og X_5 .

Potentielle ind- og udstrømningsområder for dybereliggende magasiner

Kortet over potentielle ind- og udstrømningsområder for de dybereliggende grundvandsmagasiner i Odense Å oplandet, illustreret i figur 9.13, er udformet efter princippet beskrevet i kapitel 5.



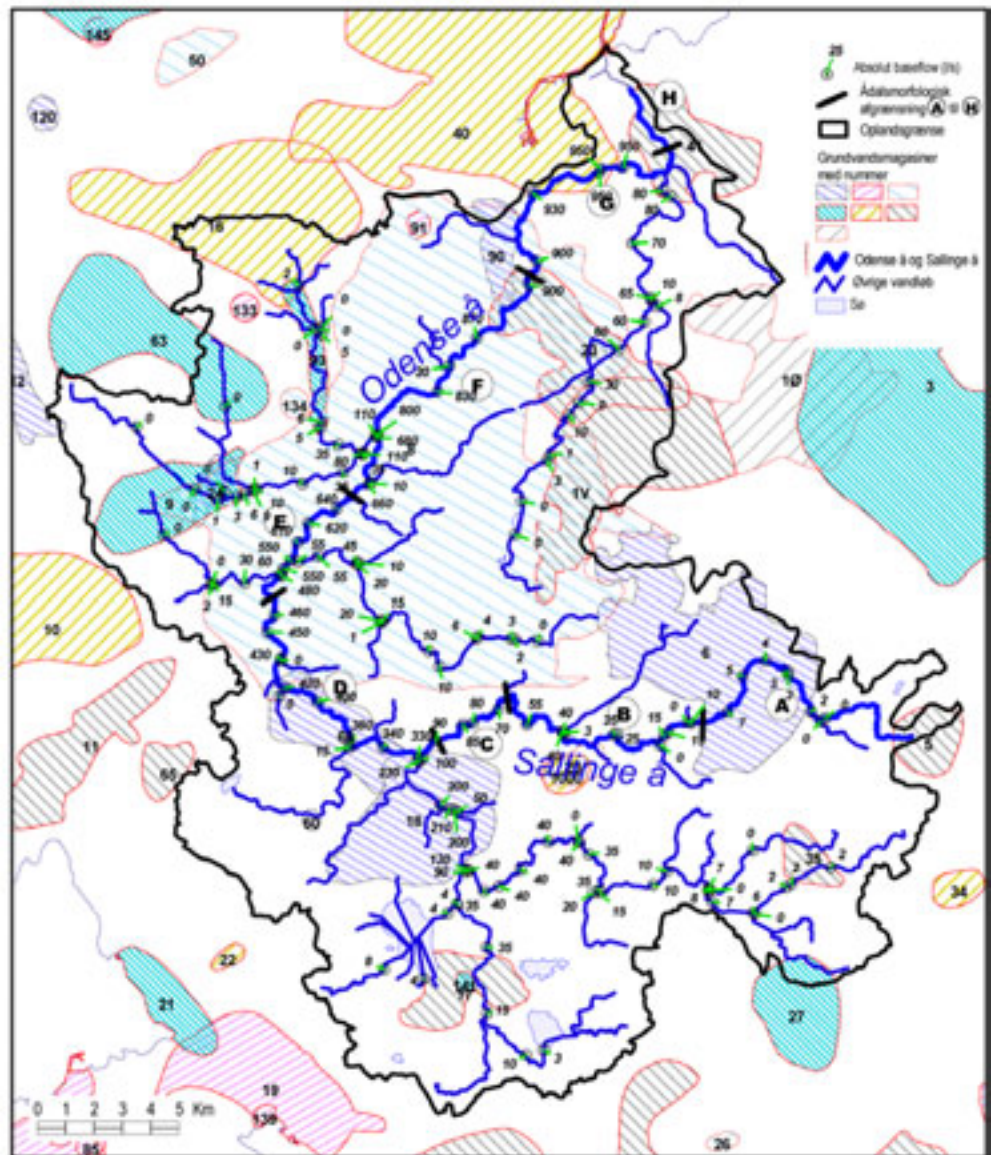
Figur 9.13. Potentielle ind- og udstrømningsområderne for dybereliggende grundvandsmagasiner. A til H angiver ådalsmorfologiske delstrækninger. Vandløbenes farveangivelse illustrerer specifik baseflow afstrømning.

Det fremgår af figuren, at langt hovedparten af oplandet er *potentielt indstrømningsområde* for de dybe magasiner. På grundlag af figuren kan det konkluderes, at de vandløb og vådområder (markeret som postglaciale ferskvandsaflejringer) der ligger i indstrømningsområderne for de dybereliggende grundvandsmagasiner modtager deres grundvandstilstrømning fra overfladenære magasiner. Det er således tilfældet i langt de fleste af vandløbenes udspringsområder og øvre løb i Odense Å oplandet. De mange små vådområder, der ligger i lavninger i landskabet, fødes ligeledes af overfladenært grundvand.

De *potentielle udstrømningsområder* for de dybe magasiner ligger ikke overraskende langs ådalene, hvor de ofte viser fint sammenfald med postglaciale ferskvandsaflejringer.

På grundlag af dette kort kan det dog ikke umiddelbart konkluderes, at der faktisk strømmer dybt grundvand ud til overfladevandet i disse områder, da der kan ligge *lavpermeable dæklag* mellem grundvandsmagasinet og overfladevandet, der forhindrer kontakt. Et eksempel på dette findes i Sallinge Ås udspringsområde

(delstrækning A), hvor der ligger et stort potentielt udstrømningsområde. Da der imidlertid ingen faktisk udstrømning finder sted til denne strækning (baseflow afstrømningen er 0 l/s- se figur 9.15 i næste afsnit) må det konkluderes at dette udstrømningsområde er *inaktivt*. Et eksempel på et *aktivt* udstrømningsområde findes derimod i det regionale udstrømningsområde for magasin 8 i delstrækning E. Her finder der faktisk en udstrømning sted af størrelsesordenen 5-15 l/s/km (se figur 9.15 i næste afsnit). Det er med udgangspunkt i disse forhold, at udstrømningsområderne (og tilsvarende indstrømningsområderne) kaldes potentielle.

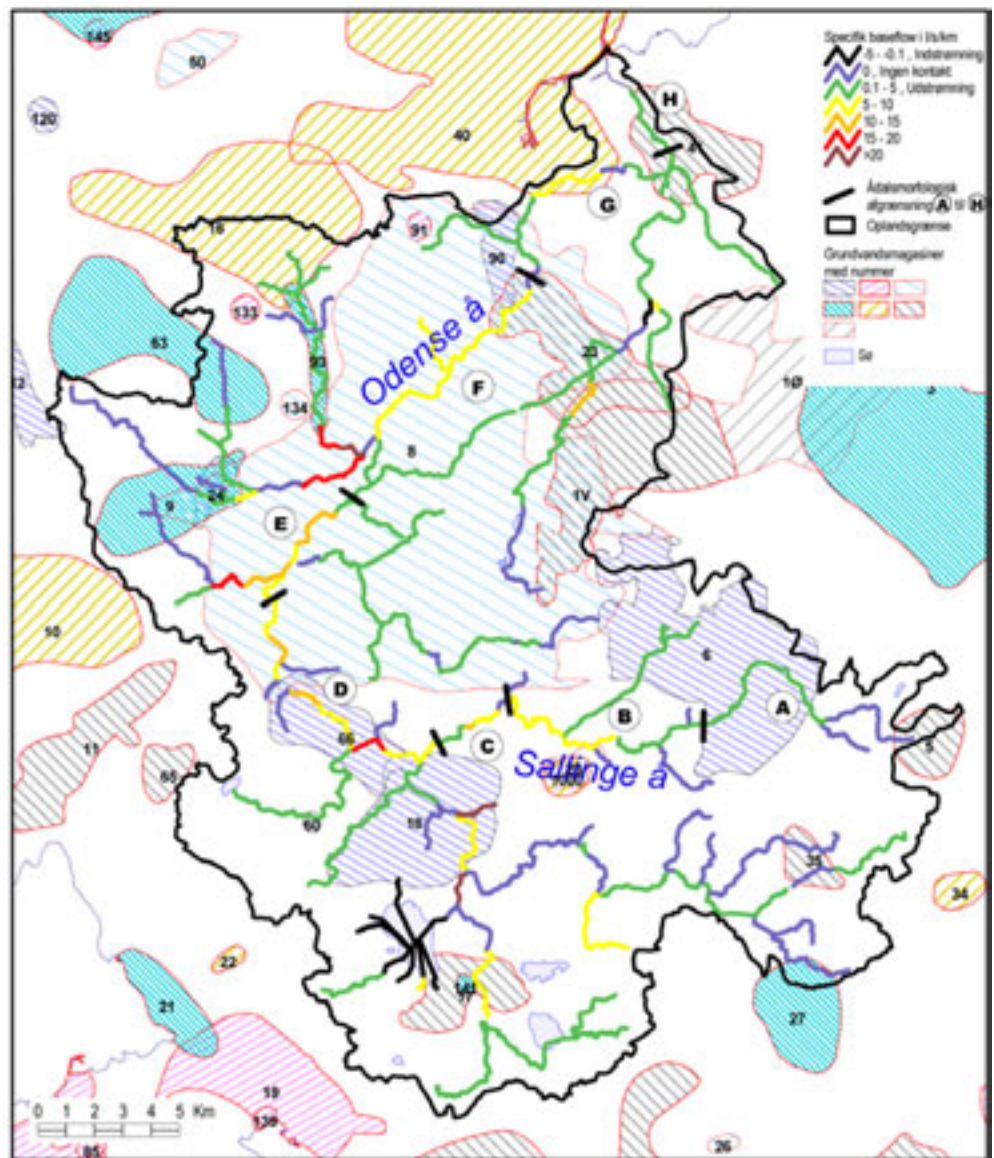


Figur 9.14. Absolut baseflow afstrømning i Odense Å oplandet baseret på synkronmålinger af medianminimumafstrømning.

Absolut og specifik baseflow afstrømning i vandløb

Synkronmålinger af medianminimumafstrømning giver et rumligt billede af den *faktiske grundvandsudstrømning* til vandløbene efter en lang tør periode om sommeren, når drænvandstilstrømningen er ophørt. Medianminimumafstrømningen er korrigeret for spildevandsudledninger. Medianminimumafstrømningen kan således anvendes som udtryk for baseflow afstrømningen i vandløbene.

Figur 9.14 viser et kort over den *absolutte baseflow afstrømning* i vandløbene i Odense Å oplandet. Dette kort kan anvendes i en vurdering af, hvor følsom en vandløbsstrækning er for påvirkning af vandføringen på grund af indvinding i ådalens tilgrænsende grundvandsmagasin. En metode til dette er afprøvet i Henriksen og Sonnenborg (2003).



Figur 9.15. Specifik baseflow afstrømning i Odense Å oplandet på basis af synkronmålinger af medianminimumafstrømning. Tilstrømningen mellem to målepunkter er relateret til vandløbslængden mellem målepunkterne (jævnfør kapitel 5).

Figur 9.15 viser et kort over den *specifikke baseflow afstrømning* i vandløbene i Odense Å oplandet. Dette kort er konstrueret efter metoden beskrevet i kapitel 5. Der gøres opmærksom på, at den specifikke afstrømning her er relateret til *vandløbslængden* og ikke til det topografiske delopland, som ofte anvendes til beregning af specifik afstrømning. På kortet over den specifikke afstrømning kan delstrækningerne sammenlignes umiddelbart. Derved træder et tydeligt billede af den faktiske grundvandstilstrømning til vandløbene frem. Kortet viser dermed både *omfang og retning af udvekslingen* mellem grundvandsmagasiner og overfladevand. Den specifikke baseflow afstrømning er tillige anvendt på figur 9.4 til 9.13.

Det fremgår af figur 9.15, at der kun er to mindre strækninger i Odense Å oplandet, hvor overfladevand *strømmer ned* til de tilgrænsende grundvandsmagasiner. Disse strækninger ligger dog udenfor de klassificerede vandløb. I mange af *udspringsområderne* i oplandet finder der ingen grundvandstilstrømning sted om sommeren. Der er dog nogle, der har en lille tilstrømning < 5 l/s/km. De *øvre* dele af vandløbene har generelt tilstrømninger mellem 0 og 5 l/s/km, men der er også

strækninger, der modtager op til 10 l/s/km. Langs den *midterste* del af Odense Å (med tilløb) findes mange af de store tilstrømninger i størrelsesordenen 10-20 l/s/km, men tilstrømninger på 5-10 l/s/km findes også. Langs den *nederste* del af Odense Å lige inden udløbet i Odense Fjord falder udstrømningen atter til < 5 l/s/km. To små strækninger med de største tilstrømninger på > 20 l/s/km findes udenfor de klassificerede vandløb.

Af figur 9.9 til 9.11 fremgår det langs de klassificerede vandløb, hvilke *grundvandsmagasiner, der har direkte kontakt med overfladevandet, samt hvor stor udvekslingen er*. Som ovenfor beskrevet har magasin 5 i udspringsområdet (delstrækning A) ikke kontakt med vandløbet på grund af de tykke mellemliggende dæklag af smeltevandsler og moræner. Magasin 6 har en vis udstrømning til vandløbet, < 5 l/s/km, gennem dæklaget af moræler. Det overfladenære magasin X₂ har god kontakt med vandløbet. Bidraget herfra ligger omkring 5-10 l/s/km, selvom det ikke vides, hvorvidt en del af denne tilstrømning også kommer nedefra. Langs delstrækning C, D, E og F modtager vandløbet for det meste mellem 5 og 20 l/s/km. Da der er flere tilgrænsende grundvandsmagasiner (X₁/66, 8 og X₃), der kan bidrage med grundvand til denne strækning, kan det ikke umiddelbart vurderes hvor stort tilskuddet er fra hver. Det er dog mest sandsynligt, at det primært er det overfladenære magasin X₃, der bidrager langs strækning D på grund af det tykke dæklag af moræner på 10-20 m, der sandsynligvis ligger over magasin X₁/66 på denne strækning. Langs strækning E bidrager det overfladenære magasin X₃, og sandsynligvis også magasin 8, da morænelerets tykkelse her sandsynligvis kun er 5-10 m. Langs hovedparten af strækning F kan både magasin X₃ og magasin 8 bidrage til afstrømningen i vandløbet. Hvor ådalen er tilgrænset af moræner både under ådalen og i ådalsskrænterne langs strækning F og G finder der ingen grundvandsudstrømning sted, ligesom det var tilfældet i udspringsområdet. Tilstrømningen, af størrelsesordenen < 5 l/s/km, til strækning G og H antages at stamme fra de overfladenære magasiner X₄ og X₅. På grund af det tykke dæklag af moræner over magasin 41 tolkes der ikke at være tilstrømning af betydning herfra. Hvor ådalen passerer gennem Odense by, kan byen virke forstyrrende på mønstret. Der er dog også mulighed for, at tilstrømningen langs Odense by kan stamme fra magasin 40, hvis udstrækning her ikke er så godt kendt. Dæklaget af moræner er her ikke så tykt (ca 10 m).

9.4.3.4 Vandkvalitet i udvekslingen mellem grundvandsmagasiner og overfladevand

I dette afsnit gennemgås den sidste arbejdsopgave knyttet til den videregående karakterisering af grundvandsmagasiner i basisanalysen (Miljøstyrelsen, 2004), bestående i at beskrive vandkvaliteten i udvekslingen.

I nærværende rapport er *redoxforholdene* og muligheden for *nitratindhold* i de tilgrænsende grundvandsmagasiner søgt vurderet.

I Fyns Amt (2000) er de *dybereliggende grundvandsmagasiner* klassificeret grundvandskemisk. Herudfra kan deres redoxforhold vurderes. Magasin 5, 6, 66 og 40 har således alle nitratkoncentrationer under 5 mg/l. De vurderes hovedsageligt at være reducerede. I magasin 41 er der en enkelt boring med en nitratkoncentration mellem 5 og 25 mg/l. Magasin 8 er det dybe magasin, der er mest påvirket af nitratforurening. Nitratkoncentrationen heri ligger således generelt over 25 mg/l. Disse to sidste magasiner vurderes at være oxiderede. For at få et nærmere kendskab til nitrattilførslen til ådalen fra disse oxiderede magasiner anbefales det, at undersøge nitratindholdet i magasinerne under ådalen nærmere. På grundlag af disse oplysninger er magasinernes nitratindhold illustreret på figur 9.9 til 9.11 med

henholdsvis blå pile for reduceret, nitratfrit grundvand og røde pile for oxideret, nitratholdigt grundvand.

På grundlag af de *overfladenære grundvandsmagasiners* kontakt med terrænoverfladen (de 'går i dagen' på jordartskortet) antages det, at de alle bidrager med oxideret, nitratholdigt grundvand. Dette afhænger naturligvis af gødningsudbringning i de grundvandsdannende områder til disse magasiner, samt placering af redoxgrænsen i magasinerne. Disse forhold er ikke undersøgt yderligere i nærværende projekt, men det anbefales at udføre dette for at opnå et godt kendskab til nitrattilførslen til ådalen fra disse magasiner. Det antagede nitratindhold i disse magasiner fremgår også af figur 9.9 til 9.11.

9.4.4 Klassifikation af grundvandsmagasiner

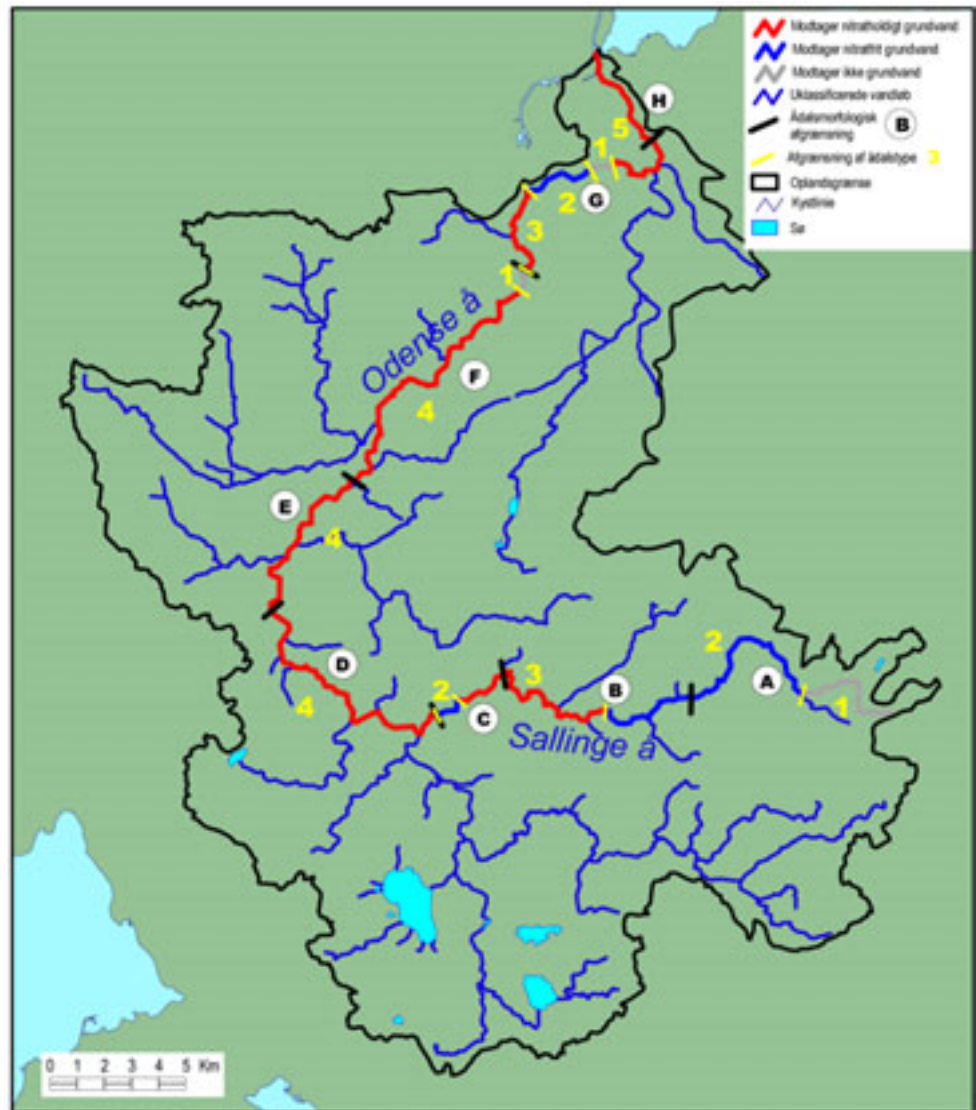
På grundlag af informationerne om grundvandsmagasinerne bjergart, kontakt med overfladevandet, samt deres redoxforhold kan både de overfladenære og dybereliggende magasiner herefter klassificeres ifølge typologien herfor (tabel 1.1). Klassifikationen er angivet i tabel 9.2, samt vist på figur 9.9 til 9.11, hvor magasintyperne er markeret med et tal i et grønt felt.

Tabel 9.2. Klassifikation af magasintype ifølge typologi herfor (tabel 1.1).

Magasin nr.	Magasinbjergart	Kontakt med overfladevand	Redoxforhold	Magasintype
X ₂	Silikat	Hele året (regional)	Oxideret	3
X ₃	Silikat	Hele året (regional)	Oxideret	3
X ₄	Silikat	Hele året (regional)	Oxideret	3
X ₅	Silikat	Hele året (regional)	Oxideret	3
5	Silikat	Ingen (dyb)	Reduceret	6
6	Silikat	Hele året (regional)	Reduceret	4
X ₁ /66	Silikat	Ingen (dyb)	Reduceret	6
8	Silikat	Hele året (regional)	Oxideret	3
40	Silikat	Hele året (regional)	Reduceret	4
41	Silikat	Ingen (dyb)	Oxideret	5

9.4.5 Klassifikation af Ådalstype

For de kortlagte ådalstrækninger fører en samlet hydrogeologisk konceptualisering af ovenstående forhold til en forståelse af udvekslingen mellem grundvandsmagasiner, Ådalsmagasin og vandløb. På grundlag af denne forståelse kan den eller de Tilgrænsende Hydrogeologiske Enhed(er)s permeabilitet (høj eller lav), størrelse (lokal eller regional) samt placering (overfladenær eller dybereliggende) karakteriseres. Sammenholdt med ådalens geomorfologi klassificeres interaktionen mellem grundvand og overfladevand i ådalen herefter ved valg af den Ådalstype fra figur 3.2 til 3.4 og tabel 3.1 til 3.3, der bedst beskriver den hydrogeologiske



Figur 9.16. Klassifikation af Ådalstyper samt udpegning af ådalsstrækninger, der vurderes ved overgangen til Ådalsmagasinet at modtage nitratholdigt eller nitratfrit grundvand, samt ådalsstrækninger, der (om sommeren) ikke modtager grundvand. Kortet viser således det vurderede nitratindholdet i grundvandet før passagen af Ådalsmagasinet, hvor nitratreduktion kan finde sted.

situation. Resultatet heraf er illustreret på figur 9.4 til 9.8, figur 9.9 til 9.11 samt af figur 9.16.

Ådalstype 1 findes tre steder langs de klassificerede strækninger. Karakteristisk for *Ådalstype 1* er, at ådalen både under ådalen og i ådalens skrænter er tilgrænset af tilstrækkeligt tykke lavpermeable moræneenheder (mere end 10 m) til at grundvandstilstrømningen ophører om sommeren. *Ådalstype 1* findes i delstrækning A, F og G.

Ådalstype 2 findes tre steder langs de klassificerede delstrækninger. Det karakteristiske for *Ådalstype 2* er, at ådalen her underlejres af en lavpermeabel tilgrænsende hydrogeologisk enhed af en vis tykkelse (mindre end 10 m), hvorigennem grundvandstilstrømningen foregår fra et dybereliggende grundvandsmagasin. I delstrækning A (og C ?) modtager *Ådalstype 2* således < 5 l/s/km nitratfrit grundvand fra henholdsvis magasin 6 (og magasin X₁ ?). I delstrækning G modtager *Ådalstype 2* ligeledes en nitratfri grundvandstilstrømning på 5-10 l/s/km sandsynligvis fra magasin 40.

Ådalstype 3 findes to steder langs de klassificerede ådalsstrækninger. Karakteristisk for *Ådalstype 3* er, at ådalen tilgrænses af et mindre, regionalt grundvandsmagasin, der har udstømning hele året. I delstrækning B/C modtager *Ådalstype 3* således ca 5-10 l/s/km nitratholdigt grundvand fra magasin X₂, der har en rimeligt stor tykkelse. I delstrækning G modtager *Ådalstypen* kun < 5 l/s/km nitratholdigt grundvand fra magasin X₄. Tilstrømningen herfra er sandsynligvis mindre, fordi dette magasin har en lille tykkelse.

Ådalstype 4 findes i én lang strækning, der omfatter det regionale udstømningsområde midt i oplandet. *Ådalstype 4* findes i delstrækning D, E og F, der omfatter ca halvdelen af de klassificerede ådalsstrækninger. Det karakteristiske for *Ådalstype 4* er, at den er tilgrænset af et regionalt grundvandsmagasin med en stor udstrømning. Grundvandsudstrømningen ligger som regel mellem 5 og 15 l/s/km, men der er også værdier < 5 l/s/km, samt værdier på 15-20 l/s/km. Den (sandsynligvis) nitratholdige grundvandstilstrømning stammer i hele *Ådalstype 4* fra magasin X₃. I delstrækning E (?) og F kommer der dog også nitratholdigt (målt) grundvand fra magasin 8.

Ådalstype 5 findes også kun et sted langs de klassificerede ådalsstrækninger. Karakteristisk for *Ådalstype 5* er, at den også er tilgrænset af et regionalt grundvandsmagasin, men tilstrømningen til ådalen er her mindre på grund af et mindre relief til oplandet. *Ådalstype 5* findes på den nederste delstrækning H. Ådalen modtager her < 5 l/s/km nitratholdigt grundvand fra magasin X₅.

9.4.6 Udpegning af ådalsstrækninger der modtager nitratholdigt grundvand

Ud fra figur 9.9 til 9.11 samt tabel 9.2 kan de ådalsstrækninger, der vurderes at modtage henholdsvis nitratholdigt og nitratfrit grundvand *ved overgangen til Ådalsmagasinet*, samt de strækninger, der (om sommeren) ikke modtager grundvand, udpeges. Disse fremgår af figur 9.16. Det skal her understreges, at kortet således viser det vurderede nitratindholdet i grundvandet *før passagen af Ådalsmagasinet, hvor nitratreduktion kan finde sted*.

Det er langs de strækninger, der vurderes at modtage nitratholdigt grundvand mulige *foranstaltninger i ådalen*, der kan mindske nitrattilførslen til overfladevandet skal vurderes. Dette kan foretages ved en kortlægning af *Strømningsvarianter* i ådalen langs disse strækninger. Dette er af tidsmæssige årsager ikke udført i nærværende projekt.

9.5 Vurdering af foranstaltninger til begrænsning af nitrattilførsel til overfladevand

Der foreligger flere muligheder for at gribe ind i kredsløbet og begrænse nitrattilførslen til overfladevandet.

Følgende omfattende foranstaltninger *i oplandet* vil generelt kunne begrænse nitrattilførslen til overfladevandet væsentligt. Da det imidlertid ligger udenfor dette projekts arbejdsområde at gå nærmere ind i disse, vil de blot blive nævnt her.

For at begrænse nitrattilførslen til overfladevandet må det først og fremmest være væsentligt at nedbringe tilførslen af nitrat ved kilden, det vil sige ved at *begrænse gødningsudbringningen* på jordoverfladen (se figur 1.1). Begrænsningen bør foregå både i de grundvandsdannende områder og udenfor disse. Begrænsningen i tilførslen til de grundvandsdannende områder for de overfladenære / lokale magasiner vil mindske nitrattilførslen i den overfladenære grundvandsudstrømning til ådalsmagasinet fra disse magasiner. Begrænsningen af tilførslen udenfor de

grundvandsdannende områder vil mindske tilførslen af nitratholdigt vand via drænene til overfladevandet.

En *inaktivering af detailafvanding i oplandet* vil umiddelbart medføre, at den direkte tilførsel af nitratholdigt vand til overfladevandet fjernes. Inaktiveringen vil medføre en større grundvandsdannelse til de overfladenære magasiner. Det må således forventes, at den overfladenære nitratholdige grundvandsudstrømning herfra vil øges. Det vil derfor være væsentligt at få nitraten i denne strømning omsat i tilknyttede vådområder i ådalene. Endelig vil en inaktivering af drænene betyde, at en større del af grundvandet også vil passere gennem redoxgrænsen ned til de dybere liggende grundvandsmagasiner, hvor nitraten denitrificeres, inden grundvandet herfra når frem til overfladevandet.

For at øge omsætningen af nitrat, der når frem til ådalen via detailafvanding i oplandet og via den naturlige overfladenære grundvandstilstrømning, vil det være særdeles effektivt at *inaktivere detailafvandingen i selve ådalen*. *Dræn fra oplandet bør ligeledes afskæres ved ådalsskrænten*, så vandet kan infiltrere ned i Ådalsmagasinet og strømme diffust gennem Ådalsmagasinet, eller sive overfladisk hen til overfladevandet. Herved kommer nitraten i kontakt med Ådalsmagasinet organiske sedimenter, hvorved der kan foregå en nitratreduktion. Ådalsmagasinet bufferkapacitet bevares endvidere, da det organiske materiale ikke nedbrydes på grund af en for lav grundvandstand.

Endelig vil en *retablering af vandløbets eventuelt slyngede leje* beliggende i Ådalsmagasinet sedimente kunne virke begrænsende på nitrattilførslen til overfladevandet, dels i kraft af en genopretning af grundvandet kontakt med de organiske sedimenter ved strømning gennem Ådalsmagasinet i stedet for strømning direkte op gennem vandløbsbunden, dels ved oversvømmelser fra vandløbet. Effekten af retableringen afhænger af nitrattilførslen i grundvandet, der strømmer til ådalen, samt af nitrattilførslen i det oversvømmende overfladevand. Disse to effekter er lokalt uafhængige af hinanden.

9.6 Sammenfatning

I kapitel 9 er der foretaget en afprøvning af GOI typologien i et leret opland. Afprøvningen er beskrevet i relation til arbejdsopgaver knyttet til basisanalysen af vandområdedistrikter. Odense Å oplandet blev valgt som repræsentant for et morænelandskab. Klassifikationen er foretaget for Sallinge Å og hovedløbet af Odense Å frem til udløbet i Odense Fjord - ialt en strækning på 61 km. Klassifikationen blev foretaget på Landskabstype og Ådalstype niveau. I kapitlet præsenteres operationelle analysemetoder udviklet i GIS systemet ARCVIEW i overensstemmelse med metodikken præsenteret i kapitel 5. Der er lagt vægt på at udvikle metoder til kortlægning af overfladenære grundvandsmagasiner på basis af jordartskort, da disse magasiner kan bidrage med nitratholdigt grundvand til ådalen. En særdeles væsentlig datakilde til en distribueret beskrivelse af retning og omfang af udvekslingen mellem grundvand og overfladevand er synkron målinger af medianminimumafstrømning, der danner basis for beregning af den specifikke baseflow afstrømning i vandløbene. Klassifikation af Ådalstype finder anvendelse i udpegning af ådalstrækninger, der vurderes at modtage nitratholdigt grundvand. Det er langs disse strækninger mulige foranstaltninger, der kan mindske nitrattilførslen til overfladevandet foreslås undersøges. Dette kan udføres ved en kortlægning af Strømningsvarianter i disse ådalstrækninger.

10 Kravspecifikationer til operationelle værktøjer

En generel kravspecifikation til operationelle værktøjer beskrives, så GOI typologien kan gøres operationel i form af egentlige GIS værktøjer i forbindelse med et eventuelt senere projekt. Metoderne til klassifikation ifølge typologien er nærmere beskrevet i kapitel 5. Følgende temaer / analyser / metoder foreslås beskrevet til behandling med GIS værktøj. I det omfang kravspecifikationerne kan præciseres, skal dette gøres i et eventuelt senere projekt.

10.1 Landskabstype

- Landskabskort over Danmark (Smed, 1981). Kortet er scannet ind med UTM koordinater, men de enkelte landskabselementer foreligger ikke digitaliseret. Tilgængeligt ved GEUS.
- Digitalt landskabselementkort fra DJF. Landskabselementer foreligger som farvekoder. Tilgængeligt fra DJF.

10.2 Ådalstype

10.2.1 Afgrænsning af Ådalsmagasin

Geografisk afgrænsning

- Danmarks Digitale Jordartskort (1:25.000) ved GEUS. Postglaciale ferskvandsaflejringer er angivet. Tilgængeligt via AIS.
- Digitale topografiske kurveplaner (TOP10DK) Tilgængelige ved KMS.
- Målebordsblade / generalstabskort (1:20.000) fra slutningen af 1800 tallet. Tilgængelige ved KMS. Scannede målebordsblade (ikke digitaliserede) med signatur for vådområder opdelt i eng, mose og marsk er tilgængelige på GEUS. Ækvidistance 5 fod (svarende til 1,55 meter). Forsøg på GEUS med GIS ' aflæsning ' af farvekoder på målebordsblade har vist, at lavbundsarealer kan udskilles uden større problemer. Operationelle procedurer skal dog udvikles.
- Grov afgrænsning af lavbundslande (1:100.000) på basis af målebordsblade findes i ' Okkerdatabasen ' ved DJF. Databasen er digital, men ikke umiddelbart tilgængelig. Operationelle procedurer skal udvikles.
- Scannede topografiske kort (1:25.000, 1:50.000 og 1:100.000). Tilgængelige ved KMS.
- Matrikelkort fra 1780-erne kan i visse tilfælde skaffes. Viser engafvandning og beliggenheden af vandmøller før 1780. Tilgængelige ved visse amter.

Dybde afgrænsning

- Boringer i Jupiter database ved GEUS. Tilgængelige ved GEUS.
- Database over boringer med UTM koordinater fra okkerkortkortlægningen i lavbundsområder i Jylland ved DJF (Madsen et al, 1984 og 1985). Der eksisterer ca. 8000 korte boringer (1-8 meters dybde) i lavbundsområder med oplysninger om materialetype (minerogent (med tekstur), tørv (med omsætningsgrad) og gytje), grundvandstand, afvandingsstiltag, farve og farvepletter (vurdering af redoxforhold). Databasen er ikke umiddelbart

tilgængelig. Operationelle procedurer skal udvikles, helst så databasen kan anvendes kombineret med Jupiter databasen ved GEUS.

- Boringer fra f.eks. Vandmiljøplan II detailundersøgelser. Tilgængelige ved amterne.
- Geofysiske data fra Gerda databasen ved GEUS. Tilgængelige ved GEUS (Gerda.Geus.dk).

10.2.2 Ådalens geomorfologi

Ådalens geometriske forhold kan bestemmes på grundlag af topografiske data.

Ådalens bredde (skræntfod til skræntfod)

- Digitale topografiske kurveplaner (TOP10DK) Tilgængelige ved KMS.
- Digital højdemodel (f.eks 25 x 25 meter grid (TOP10DK) eller finere opløsning (10 x10 m grid ved Fyns Amt). Tilgængelig ved KMS.

Vandløbets bredde er registreret digitalt (TOP10DK) for vandløb bredere end 12m. Tilgængelig ved KMS.

Ådalens relief (skrænthøjde)

- Digitale topografiske kurveplaner (TOP10DK) Tilgængelige ved KMS.
- Digital højdemodel (f.eks 25 x 25 meter grid (TOP10DK) eller finere opløsning (10 x10 m grid ved Fyns Amt). Tilgængelig ved KMS.

10.2.3 Tilgrænsende hydrogeologisk enhed

Geologisk opbygning

- Dybe geologiske lag (under ådalen) kortlægges på grundlag af profiler udtegnet på langs og tværs af ådalen ud fra boringer i Jupiter database ved GEUS. Udtrækningsprocedure ved GEUS.
- Overfladenære geologiske lag (i ådalsskrænten) kortlægges ud fra Danmarks Digitale Jordartskort (1:25.000) ved GEUS. Jordartskortet er tilgængeligt ved GEUS. Operationel procedure til udtræk fra jordartskortet og kobling med udtræk af boringer fra Jupiter databasen skal udvikles.

Afgrænsning af grundvandsmagasiner

- Udføres i forbindelse med basisanalysen af vandområdedistrikterne i 2004. Tilgængelig i amter ved udgangen af 2004.
- Dybe grundvandsmagasiner (under ådalen) er kortlagt i forbindelse med regionplanlægning og indsatsplanlægning for beskyttelse af grundvand. Tilgængelig i alle amter.
- Overfladenære grundvandsmagasiner (i ådalsskrænterne) foreslås kortlagt ifølge ovennævnte metodik (udfra jordartskort).

Udveksling mellem grundvand og vandløb

- Ækvipotentialkurvekort for dybereliggende grundvandsmagasiner. Kortene indikerer, hvor der er god og dårlig kontakt mellem dybe grundvandsmagasiner og overfladevand. Potentialerne bør dog ideelt set kun relateres til de magasiner, hvori potentialerne er målt. Tilgængelige i alle amter.
- Kort over potentielle ud- og indstrømningsområder for dybereliggende grundvandsmagasiner. Udtegnes på basis af data for primært trykniveau og frit grundvandsspejl. Operationel procedure skal udvikles, da data for frit grundvandsspejl ikke foreligger operationelt på nationalt / regionalt niveau.
- Udvekslingens retning og omfang bestemmes ud fra synkron vandføringsmålinger i vandløb. Kort over absolut og specifik baseflow

afstrømning i vandløb udtegnes. Data for medianminimumafstrømning er tilgængelige fra DMU. Operationel procedure for udtegnning af specifik baseflow afstrømning skal udvikles.

- Detaljeret analyse af vandløbshydrografen. Analytisk metodik skal udvikles.

10.3 Strømningsvariant

10.3.1 Geologi i Ådalsmagasinet

- Boringer i Jupiter database ved GEUS. Udtrækningsprocedure ved GEUS.
- Database over boringer med UTM koordinater fra okkerkortkortlægningen i lavbundsområder i Jylland ved DJF (Madsen et al, 1984 og 1985). Der eksisterer ca. 8000 korte boringer (1-8 meters dybde) i lavbundsområder med oplysninger om materialetype (minerogent (med tekstur), tørv (med omsætningsgrad) og gytje), grundvandstand, afvandingstiltag, farve og farvepletter (vurdering af redoxforhold). Databasen er ikke umiddelbart tilgængelig. Operationelle procedurer skal udvikles, helst så databasen kan anvendes kombineret med Jupiter databasen ved GEUS.
- Boringer fra f.eks. Vandmiljøplan II detailundersøgelser. Tilgængelige ved amterne.
- Geofysiske data fra Gerda databasen ved GEUS. Tilgængelige ved GEUS.

10.3.2 Menneskelige indgreb

Hovedafvanding

- Sammenligning af vandløbets forløb og beliggenhed på historiske og nutidige topografiske kort. Tilgængelig fra KMS.

Detailafvanding

- Digitaliserede grøfter (TOP10DK). Tilgængelige fra KMS.
- Drænplaner. Ikke digitaliserede. Tilgængelige fra Det Danske Hedeselskab.
- Matrikelkort fra 1780-erne kan i visse tilfælde skaffes. Viser engafvanding og beliggenheden af vandmøller før 1780. Tilgængelige ved visse amter.

10.3.3 Indikatorer for strømningsveje

Diffus strømning gennem Ådalsmagasin (Q_1)

- Tør eng. Kortlægges ud fra ortofoto og ved feltrekognocering. Operationel procedure for ortofoto analyse skal udvikles.
- Engsignatur på gamle målebordsblade. GIS behandling af farvekoder kan operationaliseres.
- Vegetation. Parameter ønskes gjort kvantificerbar så en egentlig GIS behandling af vegetationsdata kan operationaliseres.
- Kortlægning af højpermeable sedimenter i Ådalsmagasin, eventuelt med georadar.
- Forhold mellem bredden af ådalens våde engzoner og vandløbets effektive bredde (Langhoff et al, submitted; Nilsson et al, 2003). Operationel metode skal udvikles.

Overfladisk afstrømning (Q_2)

- Våd eng. Kortlægges ud fra ortofoto og ved feltrekognocering. Operationel procedure for ortofoto analyse skal udvikles.
- Signatur for vådområde og mose på gamle målebordsblade. GIS behandling af farvekoder kan operationaliseres.

- Vegetation. Parameter ønskes gjort kvantificerbar så en egentlig GIS behandling af vegetationsdata kan operationaliseres.
- Kortlægning af lavpermeable sedimenter i Ådalsmagasin, eventuelt med georadar.

Direkte strømning fra tilgrænsende hydrogeologisk enhed til vandløbsbund (Q_3)

- Tør terrænoverflade. Kortlægges ud fra orthofoto og ved feltrekognocering. Operationel procedure for orthofotoanalyse skal udvikles.
- Hvis nødvendigt kan højpermeabel vandløbsbund kortlægges med f.eks. georadar.
- Forhold mellem bredden af ådalens våde engzoner og vandløbets effektive bredde (Langhoff et al, submitted; Nilsson et al, 2003). Operationel metode skal udvikles.
- Forholdsvist lige og dybt forløb af vandløb (forårsaget af hovedafvanding). Operationel metode skal udvikles.

Strømning i dræn og grøfter i ådalen (Q_4)

- Digitaliserede grøfter (TOP10DK). Tilgængelige fra KMS.
- Temakort over drænrørdmundinger i vandløbsbrink ud fra drænplaner og feltrekognocering. GIS behandling af temakort skal operationaliseres.

11 Erfaringer fra workshop

11.1 Dræn og GOI typologien

Styres vandkvaliteten i vandløbene mere af afvanding end af de naturskabte Ådalstyper ? (Opponent Gitte Rubæk, DJF).

GOI typologien er i sin nuværende form specielt fokuseret på nitrat. Der vil derfor være behov for forskellige stofs specifikke modificeringer af typologien, hvis andre stoffer skal inddrages, så de styrende processer er repræsenteret i Strømningsvarianten. Med hensyn til fosfor betyder dyrkning, dyrkningshistorie, brinkerosion og afvanding rigtigt meget.

Vurdering af GOI typologi i forhold til risiko for fosfortab:

- Kan GOI typologien udvikles til i højere grad at omhandle risiko for fosfortab ?
- Kan virkemidler mod fosfortab med fordel designes ud fra viden om GOI typologien ?
- Kan et redskab til udpegning af risikoområder med hensyn til fosfortab arbejde sammen med GOI typologien ?

11.2 GOI typologiens anvendelse i praktisk myndighedsarbejde

Kan GOI typologien finde anvendelse i praktisk myndighedsarbejde ved vurdering af f.eks. indvindingsstilladelser i vandløbsnære områder, beskyttelse af sårbare vådområder, samt udpegning af ådale med aktiv, potentiel eller ingen nitratbegrænsende indvirkning på grundvandstilstrømningen til overfladevandet ? (Opponent Jens Asger Andersen, Københavns Amt).

Generelle kommentarer vedrørende videreudvikling af GOI typologien:

- GOI typologien indeholder en god og nyttig beskrivelse af det fysiske strømningssystem i ådale. Strømningsbeskrivelsen og GOI typologien kan anvendes og eventuelt erstatte Københavns Amts egne stereotyper i Vandståbi'en (Københavns Amt, 2003).
- GOI typologien udgør en god vejledning i beskrivelse af vandkvalitet (nitrat) i udvekslingen mellem grundvand og overfladevand.
- Metoden til udpegning af ådale med aktiv, potentiel eller ingen nitratbegrænsende virkning er god, men er kun interessant i mindre områder (ca. 20 %) af Københavns Amt, hvor der er landsbrugsdrift.
- Hovedfokusområdet i Københavns Amt er kvantitative opgørelser af grundvand/overfladevand interaktion til vurdering af påvirkninger fra indvindinger på søer, vandløb og vådområder. De kvantitative forhold i GOI typologien er ikke tilstrækkeligt operationelle til hjælp ved myndighedsbehandling af vandindvindingsager i disse vandløbsnære områder.

- Videreudvikling af GOI typologien med mere fokus på beregningsparametre og beregningsværktøjer vil gøre den væsentligt mere central i Københavns Amts kvantitative opgørelser af grundvand/overfladevand interaktion. Amtets egne analytiske beregningsmetoder (Københavns Amt, 2003) vil blive anvendt til beregning af vandføringsreduktion.
- GOI typologien inkluderer ikke betragtninger om søer og deres oplande, herunder fosfortransport.

11.3 Styrker / svagheder ved GOI typologien

Styrker / svagheder ved GOI typologien set fra en amtslig myndigheds synspunkt med udgangspunkt i erfaringer fra ådalsprojektets interaktive valideringsfase (Opponent Holger Prahm, Ringkjøbing Amt).

Styrker ved GOI typologien

- Sammenhæng mellem grundvand og vandløb bliver et naturligt tværfagligt interesseområde for biologer (biotoper) og geologer (geotoper).
- GOI typologien giver et godt input til grundvandsmodeller.
- På den ene side skaber GOI typologien ny viden. På den anden side afdækker den et stort databehov og antageligt et behov for ny IT udvikling, hvor visse datatyper i dag mangler. Typisk fokuserer typen af amtslige data på recipient effekter, for eksempel spildevandsfortynding og ekstrem minimumvandføring, mens der mangler gennemsnitlig minimumvandføringsdata og årgennemsnitlige vandføringsdata. Der er heller ikke fokus på specifik vandføring per kilometer.

Svagheder / begrænsninger ved GOI typologien

- Det har været meget tidskrævende (2 personer) at afprøve GOI typologien, men det betaler sig at bruge denne tid.
- Graden af detaljering er ikke umiddelbart klar ved flere vigtige forhold:
 - Hvornår har vi det hele med ?
 - Der er altid et spørgsmål til som kræver mere tid, nye kort eller flere besøg i felten.
 - Ådalen kan være usynlig; hvor slutter den ? Det er ofte detaljer, som bestemmer afgrænsningen.

Helt konkret anser Ringkjøbing Amt GOI typologien for at være til stor gavn i forbindelse med behandling af dambrugssager i et amt hvor dambrugene forekommer i stort antal og er et vigtigt indtægtsgrundlag for befolkningen. Ofte skal amtet tage stilling til, om amtets vandløb skal aflevere yderligere vand til dambrugene med en øget smitterisiko til følge fra nedstrøms beliggende dambrug. For at mindske behovet for brug af vandløbsvand kan der i visse tilfælde gives tilladelse til i stedet at benytte grundvand oppumpet fra en højpermeabel tilgrænsende hydrogeologisk enhed (typisk 0,5-2 millioner m³ grundvand pr. år). I netop disse sager, hvor en vurdering af påvirkningseffekter på vandløbet er væsentlig, anses GOI typologien i mange tilfælde at være en forbedring af amtets faglige grundlag for sagsbehandling.

12 Perspektivering og vidensbehov

12.1 Udvikling af operationelt GIS værktøj

I en eventuel ny tredje fase af ådalsprojektet foreslås operationelle GIS redskaber udviklet og aftestet. Disse redskaber kan understøtte implementeringen af GOI typologien i vanddistrikterne. Det endelige indhold fastlægges derfor efter inddragelse af synspunkter fra amter og vanddistriktsmyndigheder.

I projektet foreslås operationelle redskaber udviklet, der kan:

- Tilgængeliggøre geologiske data fra boredatabasen fra okkerkortlægningen placeret ved DJF digitalt således at de kan kobles med udtræk fra Jupiter databasen ved GEUS.
- Tilgængeliggøre vådområde informationer fra målebordsblade digitalt til brug for udpegning af vådområder, der er forsvundet eller formindsket som følge af grundvandsindvinding fra tilknyttede grundvandsforekomster.
- Vurdere metode til udpegning af potentielt drænede arealer ud fra eksisterende jordbundsdata.
- Udtrække informationer digitalt fra jordartskort til sammenkobling med informationer fra Jupiter databasen til brug for kortlægning af overfladenære grundvandsmagasiner.
- Beregne og udtegne kort over specifik baseflow afstrømning i vandløb på basis af synkrone målinger af medianminimumafstrømning.
- Støtte estimering af fordeling af strømningsveje med henblik på klassifikation af Strømningsvarianter (ortofoto analyse).

Der sigtes mod at udvikle GIS værktøjer til både ARCVIEW og Map Info, da amterne anvender forskellige GIS systemer.

De udviklede GIS redskaber aftesttes i et af de amter, der allerede har deltaget i aftestningen af GOI typologien.

12.2 Vurdering af påvirkning af overfladevand med andre stoffer fra grundvandet

Fosfor og miljøfremmede stoffer som pesticider, tungmetaller og hormonlignende stoffer bliver også transporteret via dræn direkte ud i overfladevandet, hvorved de også omgår naturlige nedbrydnings- og sorptionsmekanismer. Dette kan visse steder forhindre opfyldelsen af god kemisk og økologisk tilstand i overfladevandet som påkrævet i Vandrammedirektivet inden 2015 (Miljøstyrelsen, 2004). Den naturlige udstømning fra overfladenære / lokale grundvandsmagasiner kan ligeledes bringe grundvand med et lignende indhold af forurenende stoffer til overfladevandet. Et injektionsforsøg (Dahl et al, 2000) i et af vådområderne i Gjærn Å oplandet (Mølgårde) har således vist et betragteligt potentiale for fortynding såvel som nedbrydning og sorption af pesticider (Mechlorprop og Isoproturon).

Det foreslås derfor at videreudvikle GOI typologien til også at kunne håndtere andre stoffer og processer, samt at kunne vurdere ådalenes indvirkning på

begrænsning af tilførsel af disse stoffer til overfladevandet. Dette er eksemplificeret i tabel 12.2.

Tabel 12.2. Eksempler på videreudvikling af GOI typologien til at kunne håndtere retention af andre forurenende stoffer i Ådalsmagasinet.

Strømningsvej	Organisk indhold i Ådalsmagasin (%)	Nitrat-retention (%)	Fosfor-retention (%)	Pesticid-retention (%)
Diffus strømning gennem Ådalsmagasin, Q ₁	< 3	0	?	?
Overfladisk strømning, Q ₂	> 3	10-97	?	?
Direkte strømning gennem vandløbsbund, Q ₃		50 (20-99)	?	?
Strømning i Dræn og grøfter, Q ₄		0	?	?

12.3 Data behov

I løbet af projektet 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 Ådalsmagasinets 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 *databasen over borer foretaget i forbindelse med okkerkortlægningen i lavbundslande i Jylland* (Madsen, 1980; Madsen et al, 1984 samt Madsen et al, 1985), der er placeret ved Danmarks JordbrugsForskning i Foulum, tilgængeliggøres digitalt. Denne database rummer mange særdeles værdifulde oplysninger om geologien i Ådalsmagasinet i Jylland til anvendelse i GOI typologien.

Med hensyn til beskrivelse af *vandkvaliteten* i overfladevandet anbefales det, at indsamle oplysninger om vandkemien i forbindelse med kampanjer for synkronvandføringsmålinger på forskellige tidspunkter af året (se nedenfor).

Synkronmåling af vandføring

Det anbefales at foretage (nye) synkrone afstrømningsmålinger for at opnå en bedre rumlig og tidlig forståelse af udvekslingen mellem grundvand og overfladevand:

- Nye målinger om *sommeren efter lang udtørring* (giver oplysninger om den vedvarende basale udstrømning (baseflow) fra grundvandsmagasiner).
- Målinger om *efteråret før drænrør er aktive* (giver oplysninger om den samlede udstrømning fra dybereliggende og mere overfladenære magasiner).
- Målinger om *vinteren når drænrør er aktive* (giver oplysninger om den samlede udstrømning fra dybereliggende og mere overfladenære magasiner samt drænvandsafstrømning).

Ud fra disse oplysninger kan distribuerede, specifikke bidrag fra henholdsvis dybere udstrømning (baseflow), overfladenær udstrømning, samt drænvandsudstrømning kvantificeres indenfor et opland. Distribueringen af målepunkter bør afspejle den forventede rumlige og tidslige variation i afstrømningen indenfor oplandet.

Detailafvanding

Geografisk bestemte oplysninger om detailafvanding i oplandet og i ådalen er særdeles væsentlige at indsamle og tilgængelige digitalt.

12.4 Vidensbehov

Viden om *mægtigheden* (tykkelsen) og de *hydrauliske egenskaber* af Ådalsmagasinets aflejringer under *vandløbsbunden* i forskellige Ådalstyper er vigtig for opsætning af modeller til kvantificering af udvekslingen mellem grundvand og overfladevand og for kvantificering af påvirkningen fra grundvandsindvinding.

En reduceret vandføring forårsaget af grundvandsindvinding vil påvirke *vandløbsøkologien*. Specielt vil en reduktion af sommervandføringen mange steder resultere i dårligere forhold for fisk og bunddyr. Vores viden om effekterne af grundvandsindvinding, hovedafvanding og detailafvanding for vandføringsregime og især baseflow i vandløb er i dag meget 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.

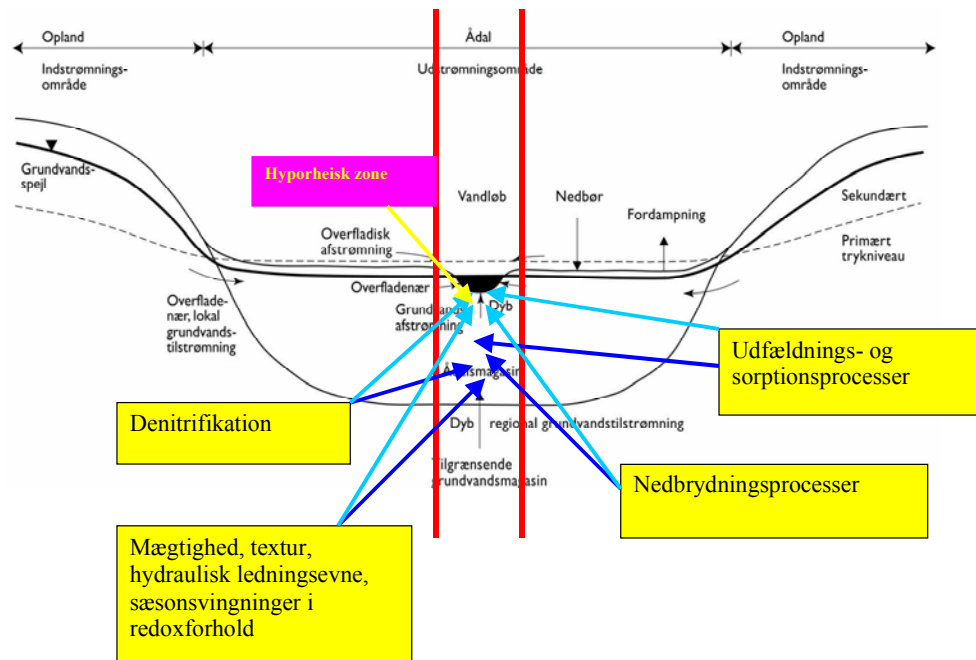
Genopretning af naturlige strømningsveje for grundvand i ådale vil ofte medføre et øget samspil mellem overfladevand, ådal og grundvand i form af *oversvømmelser*. Der er behov for viden om betydning af dette modsatrettede samspil mellem overfladevand og grundvand for biogeokemiske processer i de øvre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

Der er behov for større viden om *nitratretentionen* i forskellige Ådalstyper i forhold til det organiske indhold i Ådalsmagasinets sedimenter, hvori strømningen foregår, med henblik på opbygning af standardparametre til brug i genopretningsprojekter af ådale.

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 12.1).

Grundvandstilstrømning gennem vandløbsbund og –brinker forekommer naturligt i



Figur 12.1 Vidensbehov i den ånære zone.

de fleste ådale og spørgsmålet er, i hvor høj grad biogeokemiske processer i den iltede hyporheiske zones kan fremme fosforsorption og nedbrydning af miljøfremmede stoffer og dermed mindske belastningen fra grundvand til overfladevand.

12.5 Sammenfatning

I kapitel 12 foreslås en operationalisering af GOI typologien ved udvikling af GIS værktøjer.

Det foreslås endvidere at videreudvikle GOI typologien til også at kunne håndtere andre stoffer og processer, samt at kunne vurdere ådalenes indvirkning på begrænsning af tilførsel af disse andre stoffer til overfladevandet.

Herefter gennemgås behov for yderligere data vedrørende geologiske, hydrologiske og vandkemiske forhold i ådalene. Det anbefales specielt at færdiggøre kortlægningen af Danmarks Digitale Jordartskort (1:25.000) ved GEUS, samt tilgængelige boringer fra databasen fra okkerkortlægningen ved DJF. Der foreslås foretaget kampagner af synkronmålinger af vandføring på tre tidspunkter af året, således at distribuerede, specifikke bidrag fra henholdsvis dybere udstrømning (baseflow), overfladenær udstrømning, samt drænvandsudstrømning kan kvantificeres indenfor et opland. Endelig er der behov for geografisk bestemte, digitale oplysninger om detailafvanding i oplandet og i å dalen.

Herefter gennemgås vidensbehov. Vigtige emner, der kræver en yderligere forskningsindsats er: viden om mægtighed og hydrauliske egenskaber af Ådalsmagasinet og vandløbsbunden, viden om samspillet mellem overfladevand, ådal og grundvand under oversvømmelser forårsaget af genopretningsprojekter, viden om sammenhængen mellem nitratreduktion og organisk indhold i Ådalsmagasinet, viden om fosfors biogeokemiske processer i Ådalsmagasinet, samt om biogeokemiske processer i den iltede hyporheiske zones (omkring

vandløbet) specielt i forhold til fosforsorption og nedbrydning af miljøfremmede stoffer.

13 Referencer

- Allerup, P. og Madsen, H. (1979): Dansk Meteorologisk Institut. Klimatologiske Meddelelser nr. 5, København.
- Ambus, P. og Hoffmann, C.C. (1990): Kvælstofomsætning og stofbalance i ånære områder. NPo-forskning fra Miljøstyrelsen, Nr. C13, 65 pp.
- Aslyng, H.C. (1980): Afvanding i jordbruget. Kulturteknik III, 3 udgave, DSR Forlag, KVL, 228 s.
- Boelter, D.H. (1965): Hydraulic conductivity of peats. *Soil Science*, vol. 100: 227-231.
- Boelter, D.H. (1969): Physical properties of peat as related to degree of decomposition. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, vol 33: 606-609.
- Brüsch, W. (1987): Grundvandskemi og arealanvendelse. Grundvandskemi under hede, granpålantage, løvskov og landbrug på tørre, sandede jorder. Marginaljorder og miljøinteresser, Teknisk rapport, nr. 12. Skov- og Naturstyrelsen.
- Brüsch, W. og Bendix, I. (1987): Grundvandskemi i udvalgte engarealer. Grundvandskemi og -strømning i og ved Rabis Bæks øvre løb, Karup Hedeslette. Marginaljorder og miljøinteresser, Teknisk rapport nr. 20. Skov- og Naturstyrelsen.
- Brüsch, W. og Nilsson, B. (1993): Nitrate transformation and water movement in a wetland area. *Hydrobiologia* 251, 103-111.
- Christensen, B.S.B. og Jensen, S. (1999): Strømning og stoftransport i et vådområde - Mølgårde. Eksamensprojekt ved Institut for Strømningsdynamik og vandressurser, Danmarks tekniske Universitet.
- Christensen, P.B. og Nielsen, L.P. (1987): Direkte målinger af denitrifikation i vandløb. *Vand og Miljø* 3, 117-120.
- Dahl, M. (1990): Eng-økosystem i Stevns ådal. Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen, nr. 1/1990.
- Dahl, M. (1995): Flow dynamics and water balance in two freshwater wetlands. PhD thesis. Københavns Universitet og Danmarks Miljøundersøgelser.
- Dahl, M., Harrar, W.G., Jørgensen, H.J. og Knudby, C. (1998): Integrated hydrological modelling of freshwater resources in Denmark - distribution of aquifer-river exchange parameters. Proceedings from conference on 'Gamling with Groundwater'. Las Vegas, Nevada USA, 28/9- 2/10-1998. Edited by Brahane, J.V., Eckstein, Y., Ongley, L.K., Schneider, R. og Moore, J.E. pp:607-616.
- Dahl, M., Nilsson, B., Jacobsen, O.S., Aamand, J., Juhler, R.K., Larsen, L., Hoffmann, C.C., Jørgensen, C., Engesgaard, P., Christensen, B.S.B. og Jensen, S. (2000): Transport, nedbrydning og sorption af pesticider i et vådområde. Det

Strategiske Miljøforskningsprogram. Miljøforskning nr. 42, Pesticider og grundvand: 29-31.

Danish Secret Service (1954): Aerial photos.

Freeze, R.A. and Cherry, J.A. (1979): Groundwater. Prentice Hall.

Fuglsang, A. (1994): De våde enge kan tilbageholde kvælstof. Vand og Jord, nr 1.

Fyns Amt (2000): Kortlægning af grundvandsressourcen. Regionplan 2001 - Forslag til udpegning af nitratfølsomme indvindingsområder.

Fyns Amt (2003): Odense Pilot River Basin. Foreløbig Basisanalyse. Vandrammedirektivets Artikel 5.

Grant, R., Laubel, A., Kronvang, B., Andersen, H.E., Svendsen, L.M. and Fuglsang, A. (1996): Loss of dissolved and particulate phosphorus forms in drainage water from four arable catchments on structured soils in Denmark. Water Research, 30(11), 2633-2642.

Hansen, B. (1986): Tilførsel af kvælstof, fosfor og organisk stof til vandløb fra landbrugsområder. Gjelbæk og Rabis bæk. Rapport til Miljøstyrelsens Ferskvandslaboratorium. 44 pp. Hedeselskabet.

Henriksen, H.J. og Sonnenborg, A. (2003): Ferskvandets kredsløb. NOVA 2003 temarapport. Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse, Danmarks Miljøundersøgelser, Danmarks JordbrugsForskning og Danmarks Meteorologiske Institut.

Hoffmann, C.C., Dahl, M., Kamp-Nielsen, L. og Stryhn, H. (1993): Vand- og stofbalance i en natureng. Miljøprojekt nr. 231. Miljøstyrelsen.

Kampsax (1995 og 1999): Danmarks Digitale Ortofoto (DDO).

Jensen, H.E. og Jensen, S.E. (2001): Jordfysik og Jordbrugsmeteorologi. DSR Forlag.

Kronvang, B., Thyssen, N. and Mortensen, E (1987): The transport of nitrogen, phosphorus and organic matter in two small streams draining farmed catchments. Poster session "Jordbrugets Vattenproblem", præsenteret til Nordisk Limnologmøte, 4-5 March, Lund, Sweden. National Agency of Environmental Protection, Ferskvandslaboratoriet, Publ. No. 69, 12 p.

Kronvang, B., Jensen, J.P., Hoffmann, C.C. & Boers, P. (2001): Nitrogen Transport and Fate in European Streams, Rivers, Lakes and Wetlands. In: Follett, R.F. & Hatfield, J.L. (eds.): Nitrogen in the Environment. Sources, Problems, and Management. Elsevier. pp. 183-206.

Kronvang, B., Svendsen, L.M., Jensen, J.P. og Dørge, J. (1997): Nutrients - Land use and Nature Restoration. (In Danish). Thematic Report from NERI No. 13, 38 p.

Kronvang, B., Iversen, H.L., Jørgensen, J.O., Paulsen, I., Jensen, J.P., Conley, D., Ellermann, T., Laursen, K.D., Wiggers, L., Flindt Jørgensen, L. og Stockmarr, J. (2001): Fosfor i jord og vand. Udvikling, status og perspektiver. Afdeling for Vandløbsøkologi, Afdeling for Atmosfærisk Økologi, Afdeling for Havøkologi og

Afdeling for Sø- og Fjordøkologi. 88 s.- Faglig rapport fra DMU 380. (Findes på: http://www.dmu.dk/1_viden/2_Publikationer/3_fagrappporter/rappporter/FR380_samlet.pdf)

Kronvang, B., Strøm, H.L., Iversen, H.L., Hoffmann, C.C., Laubel, A., Jørgensen, J.O. og Friberg, N. (2002): Transporteres pesticider via dræn til vandløb? *Vand & Jord* 9(3), 99-104.

Kuehn, F., King, T., Hoerig, B., Peters, D. (Eds). (2000): Remote sensing for site characterization. Springer.

Københavns Amt (2003): Vand-Ståbi. Beregning af vandindvindingens påvirkning på vandløb, søer og moser. Københavns Amt.

Langhoff, J.H.; Christensen, S.; Rasmussen, K.R. (2001): Scale dependent hydraulic variability of a streambed on an outwash plain. Proceedings of a symposium held during the Sixth IAHS Scientific Assembly. IAHS Publ. no. 269: 205-212.

Langhoff, J.H.; Christensen, S.; Rasmussen, K.R. (2002): Groundwater seepage to a stream having a low-conductivity streambed and a wide, wet riparian zone. EGS XXVII General Assembly, Nice, France, April 2002.

Langhoff, J.H. (in prep.): Ground Water Surface Water Interaction with Focus on Streams on Alluvial Plains in west Jutland, Denmark. Ph.D. Thesis, The Department of Earth Sciences, University of Aarhus, Denmark.

Langhoff, J.H.; Christensen, S.; Rasmussen, K.R. (submitted): A field investigation of the interaction between ground water and surface water along an alluvial stream.

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* vil 12, nr. 4: 363-371.

Madsen, H.B og Holst, K. (1987): Potentielle marginaljorde. Marginaljorder og miljøinteresser, Teknikerrapport nr. 1, Skov- og Naturstyrelsen.

Miljøstyrelsen (1983): Karup å undersøgelsen. 51. 1983. Miljø-Projekter.

Miljøstyrelsen (2004): Basisanalyse af vandforekomster. Foreløbig Vejledning fra Miljøstyrelsen (endnu ikke udgivet).

Nielsen, S.B. (2003). Overvågningsresultater for VMPII-projektet ”Ulleruplund – tilløb til Brøns Å”. Dataindberetning fra Sønderjyllands amt til DMU, 17 marts 2003.

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.

Nyholm, T., Rasmussen, K.R., Christensen, S. (2002): Flow depletion in a small stream caused by ground water abstraction from wells. *Ground Water* 40: 425-437.

Paaby, H. og Møhlenberg, F. (1996): Havets usynlige liv. Temarapport fra DMU nr. 9.

Paludan, C.P. (2003): Tilbageholdelse af kvælstof og fosfor i genskabte vådområder i Fyns amt. Foreløbigt Notat fra Fyns amt.

Päivänen, J. (1973): Hydraulic conductivity and water retention in peat soils. *Acta Forestalia Fennica*, vol. 129: 1-68.

Refsgaard, J.C., Henriksen, H.J., Nilsson, B., Rasmussen, P., Kronvang, B., Skriver, J., Jensen, J.P., Dalsgaard, T., Søndergaard, M. & Hoffmann, C.C. (2002): Vidensstatus for sammenhængen mellem tilstanden i grundvand og overfladevand. Miljøstyrelsen. 110 s. - Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen 21 (elektronisk). www.mst.dk/udgiv/publikationer/2002/87-7972-157-5/html.

Ringkjøbing Amt (2000): Digitaliseret Landskabskort over Danmark Smed (1981).

Sand- Jensen, K. (1996): Økologi i søer og vandløb. G.E.C. Gads Forlag, København, 188 s.

Simmelsgaard, S.E. (1994): Nitratkvælstof i drænvand 1971-1991. Måling af nitratkvælstof i drænvand samt modelberegning af afstrømning og kvælstofudvaskning til undergrunden. SP rapport nr. 47, Landbrugsministeriet, Statens Planteavlsvforsøg, 67 s.

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

SNS (2003): Vandmiljøplan II. Genopretning af vådområder. www.sns.dk/landhav/vandmilplan/sns-web/haefte2/haefte2.htm. Skov- og Naturstyrelsen.

Vedby, S. (1984): Vådbundsarealer i Susåområdet. Hydrologi og jordbund. Susåundersøgelsen, SUSÅ-T1.

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

Villumsen, B. (2003): Samspil mellem grundvand og overfladevand i vandrammedirektivet. ATV Jord og Grundvand. Helnan Marselis Hotel, Århus, 6. november 2003.

Bilag. Typologi og parametre fra velkendte ådalslokaliteter

Lerede vandløbsoplande:

Bilag A: Stevns Å
Bilag B: Gjern Å

Sandede vandløbsoplande:

Bilag C: Rabis Bæk
Bilag D: Karup Å
Bilag E: Haller Å
Bilag F: Storå

Bilag A: Stevns Å

Lokalitet:	Ådalstype		Geometri af ådal og ådalsmagasin [m]						Hydraulisk ledningsevne [m/s] (1)				Effektiv porøsitet [%] (1)				Lækagekoefficient [s-1]																																																			
			Bredde		Relief		Tykkelse af ådalsmagasin		Ådalsmagasin vandløbsbund		Ådalsmagasin vandløbsbund		Ådalsmagasin vandløbsbund		L1		L3																																																			
Sted	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.																																																		
Stevns Å																																																																				
Hellested Præstemærk	2	4	250		25	0,5	5,5	4xE-7	4xE-5	4xE-7	4xE-5	25	25	10	20	5xE-8	3xE-6	1xE-7	1xE-5																																																	
	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Sted</th> <th colspan="2">Afvanding</th> <th colspan="8">Strømningsfordeling [%] og opholdstider [døgn]</th> <th colspan="2">Strømningsvariant</th> <th colspan="2">Organisk indhold [%]</th> <th colspan="2">Nitratomsætning (2)</th> </tr> <tr> <th>Detail</th> <th>Hoved</th> <th>Q1</th> <th>T1</th> <th>Q2</th> <th>T2</th> <th>Q3</th> <th>T3</th> <th>Q4</th> <th>T4</th> <th>Strømningsvariant</th> <th>Diffus</th> <th>Organisk indhold [%]</th> <th>Nitratomsætning (2)</th> <th>i [%]</th> <th>i [kg NO3-N/ha/år]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Hellested Præstemærk</td> <td>ja/nej</td> <td>ja</td> <td>100</td> <td>1700</td> <td>0</td> <td></td> <td>0</td> <td></td> <td>0</td> <td></td> <td>Diffus</td> <td>> 3</td> <td>> 3</td> <td>ca. 97 %</td> <td>57</td> </tr> </tbody> </table>																			Sted	Afvanding		Strømningsfordeling [%] og opholdstider [døgn]								Strømningsvariant		Organisk indhold [%]		Nitratomsætning (2)		Detail	Hoved	Q1	T1	Q2	T2	Q3	T3	Q4	T4	Strømningsvariant	Diffus	Organisk indhold [%]	Nitratomsætning (2)	i [%]	i [kg NO3-N/ha/år]	Hellested Præstemærk	ja/nej	ja	100	1700	0		0		0		Diffus	> 3	> 3	ca. 97 %	57
Sted	Afvanding		Strømningsfordeling [%] og opholdstider [døgn]								Strømningsvariant		Organisk indhold [%]		Nitratomsætning (2)																																																					
	Detail	Hoved	Q1	T1	Q2	T2	Q3	T3	Q4	T4	Strømningsvariant	Diffus	Organisk indhold [%]	Nitratomsætning (2)	i [%]	i [kg NO3-N/ha/år]																																																				
Hellested Præstemærk	ja/nej	ja	100	1700	0		0		0		Diffus	> 3	> 3	ca. 97 %	57																																																					
Q1: Diffus strømning gennem ådalsmagasin																																																																				
Q2: Overfladisk afstrømning	(1) Dahl (1990)																																																																			
Q3: Direkte strømning gennem vandløbsbund	(2) Hoffmann et al (1993)																																																																			
Q4: Strømning i dræn og grøfter	Normal skrift: skønnede værdier																																																																			
	Fed skrift: målte værdier																																																																			

Bilag B: Gjern Å

Lokalitet:	Geometri af ådal og ådalsmagasin [m]					Hydraulisk ledningsevne [m/s]					Effektiv porøsitet [%]					Lækagekoefficient [l/s]						
	Ådalstype	vandleb		Relief		(3) Tykkelse af ådalsmagasin			(2) ådalsmagasin		vandløbsbund		(3) ådalsmagasin			vandløbsbund		L1			L3	
min.		max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.
Gjern Å																						
Ådalstype																						
Anbæk	1	½	1	40	50	½	1	0	½	1,4xE-4	4,3xE-4			7	22			2,8xE-4	8,6xE-4			
Mølgårde	4	1	2,5	25	50	5	7,5	2	3	1xE-8	1xE-4			10	90			3xE-9	5xE-5			
Gelbæk	3					7,5	10															
Søbyvåd	2	1	3	75	100	12,5	15	½	2,5	2,4xE-7	1,1xE-4			5	16			4,8xE-7	4,4xE-5			
Smingevåd	9	2	4	250	400	0	½	1	7	6,1xE-8	1,7xE-5			8	24			6,1xE-8	2,4xE-6			
Sted	Atvanding		Strømningsfordeling [%] og opholdstider [timer]										Organisk indhold [%]		Nitrat omsetning							
	Detail	Hoved	Q1	T1	Q2	T2	Q3	T3	Q4	T4	Strømningsvariant		[%]		[kg NO3-N/ha/år]							
Anbæk	nej	nej	100		0		0	0	0		diffus		≤ 3		67		140					
Mølgårde (4)	nej	nej	90-100		0-10		0	0	0		diffus; overfladisk		≥ 3		97		1079-2100					
Gelbæk	ja	nej	0		25-50		0	0	50-75		detailafvandet		≥ 3									
Søbyvåd	nej	ja	75		0		0	0	25		diffus		≥ 3		96		541					
Smingevåd	ja	nej	70-80		0		15-25	0-5			diffus		≥ 3		97		397					
Q1: Diffus strømning gennem ådalsmagasin		(1) Nilsson et al (2003)																				
Q2: Overfladisk afstrømning		(2) Christensen og Jensen (1999)																				
Q3: Direkte strømning gennem vandløbsbund		(3) Dahl, M (pers. komm.)																				
Q4: Strømning i dræn og grøfter		(4) Dahl (1995)																				
		Fed skrift: målte værdier																				
		Normal skrift: skønnede værdier																				

