

Restaurering af små danske vandløb

Evaluering af vandløbsrestaurering med Skamlebækken som case-studie



15-02-2012
Aalborg Universitet
Vigga Nørgaard Madsbøll
10. semester

Restaurering af små danske vandløb

Evaluering af vandløbsrestaurering med Skamlebækken som case-studie

Forsidebilleder: tv. Bruun, 2009, th. eget billede, 2011

Titel:

Restaurering af små danske vandløb. Evaluering af vandløbsrestaurering med Skamlebækken som case-studie

Udarbejdet af:

Vigga Nørgaard Madsbøll

Projektvejleder:

Morten Lauge Pedersen

Projektperiode:

1. september 2011 – 14. februar 2012

Oplagsantal: 5

Sideantal:

Bilagsantal og –art: 5 på CD-ROM

Synopsis:

Gennem tiden er de danske vandløb blevet udrettede, kanaliserede og rørlagte. Denne udvikling er nu vendt, og med et øget fokus på vandløbskvalitet, genslynges vandløbene i dag.

Dette projekt evaluerer et restaureringsprojekt af et mindre vandløb, Skamlebækken, 2 ½ år efter restaureringen i forhold til fysiske parametre; strømforhold, vandløbsbredde og –dybde og bundsediment, samt de deraf følgende biologiske forhold; makroinvertebrater og vandløbsplanter.

Projektets fokus er hvordan de ovennævnte parametre har udviklet sig siden restaureringen.

Vandløbsbunden er generelt blevet mere fintkornet, strækninger med slyngninger er blevet bredere og dybere og mere varierede i bredden og dybden. Vegetation er indvandret til vandløbsbrinker, men kun meget lidt er fundet i vandløbet. Makroinvertebratsamfundene har ikke nået niveauet før restaureringen.

Rapportens indhold er frit tilgængeligt, men offentliggørelse (med kildeangivelse), må kun ske efter aftale med forfatteren.

Forord

Dette 10. semesters projekt er udarbejdet på Aalborg Universitet, som en del af en to-fags kandidatuddannelse med geografi som hovedfag.

Projektet henvender sig til naturgeografer og biologer med interesse for vandløbsrestaurering, samt til det kommunale arbejde indenfor dette område.

I forbindelse med udarbejdelsen af denne rapport, skal der rettes en særlig tak til Morten Olsen, lodsejer, for tilladelse til foretagelsen af undersøgelser i Skamlebækken, samt Gry Annika Jensen, Naturgeograf ved Odsherred Kommune, for hjælp til opklarende spørgsmål samt billedmateriale i forbindelse med restaureringens gennemførsel og baggrund.

Indhold

Abstract.....	3
1 Indledning.....	5
1.1 Problemformulering.....	7
2 Skamlebækken.....	9
2.1 Restaureringen.....	10
2.2 Fremtidig restaurering.....	12
3 Vandløbet.....	13
3.1 Vandløbets form.....	13
3.1.1 Det sinuøse og mæandreende vandløb.....	14
3.1.2 Det lige vandløb.....	15
3.2 Strømforhold.....	15
3.3 Sedimenter.....	16
3.3.1 Tilførsel af sedimenter.....	17
3.4 Vegetation.....	17
3.5 Vandløbets fauna - Makroinvertebrater.....	18
3.6 Erfaringer fra tidligere restaureringsprojekter.....	18
3.6.1 Lindved Å.....	18
3.6.2 Esrum Å.....	19
3.6.3 Gudenåen.....	20
3.6.4 Gels Å.....	20
3.6.5. Skjern Å.....	20
3.6.6 Den samlede udvikling.....	21
4 Metoder.....	23
4.1 Fysisk indeks.....	23
4.2 Bestemmelse af bundsedimenter.....	24
4.3 Bestemmelse af vandhastigheder.....	24
4.4 Bestemmelse af grødevækst.....	24
4.5 Prøvetagning og udsortering af makroinvertebrater.....	25
4.6 Diversitet.....	26
5 Resultatbehandling.....	27

5.1 Vandløbets udformning og fysisk indeks-værdi.....	27
5.2 Vandløbets bredde.....	30
5.3 Vandløbets dybde	33
5.4 Forskelle i strømhastighed	36
5.5 Bundsedimenter.....	39
5.6 Vandløbets planter.....	42
5.6.1 Tidligere undersøgelser	43
5.7 Vandløbets makroinvertebrater	43
5.8 Shannon-Wieners diversitet.....	44
5.9 Oversvømmelsesproblemer på Skamlebækvej 8.....	44
6 Diskussion.....	45
6.1 Det fysiske indeks.....	45
6.2 Vandløbets bredde.....	45
6.3 Vandløbets dybde	46
6.4 Vandløbets strømhastighed	46
6.5 Bundsediment.....	47
6.6 Vandplanter.....	48
6.7 Makroinvertebrater.....	49
6.8 Sammenhæng mellem forskellige parametre	51
6.9 Tidligere undersøgelser	52
7 Konklusion.....	55
Litteraturliste	57

Abstract

In this master thesis the development in physical parameters and the resulting biological parameters 2 ½ years after a physical restoration in a small Danish stream is evaluated. The stream, Skamlebækken, is located in the northwestern part of Zealand in Odsherred Municipality. The restoration of this stream has its origin in flooding problems at a property where the stream was running through pipes, but the aim of the restoration was also to increase the value of the stream, physically as well as ecologically.

The restoration resulted in a stream with coarser sediments, higher stream velocity, smaller width, and as a result of the current legislation, a riverbank with no vegetation other than a few planted trees.

This project examines the development in physical parameters of the stream; width, dept, stream velocity and sediment cover by looking at previously collected data sets; 1 data set collected before the restoration, 3 data set collected in the first 3 months after the restoration, 1 data set collected eight months after the restoration, and 1 data set collected in connection with this master thesis; 2 ½ year after the restoration. In addition to these physical parameters, biological parameters, i.e. vegetation and macroinvertebrates, are also examined in this master thesis. Prior data concerning macroinvertebrates is included, as well as data collected in connection to this master thesis.

The data indicates that the width has become greater at one section of the stream, and that the depth of the stream has become greater at two sections of the stream. At these sections both depth and width have become more varied in the years after the restoration was completed. The sediment cover has in general become more finely grained, and especially one section of the stream stands out, having almost 85 % sediment cover from fine sediments. This is thought to be a result of erosion of the high and to a large extend unprotected stream banks. It is, however, also a possibility, that this is conditioned by the season.

Plants have at this point mainly been found at the riverbanks; mainly grasses, with surface near root systems. Vegetation with deeper roots will be necessary for supporting the banks and diminishing further erosion. Roots from the already planted trees will probably be important in this process.

Macroinvertebrate communities have not been found and increased in number of species and homogeneity in the stream to the same extend as seen in other similar studies. The reason for this seems not to be found in the physical elements of the restored part of the stream, but might be caused by the disruption of the stream caused by a pond, or seasonal fluctuations.

1 Indledning

I den upåvirkede danske natur gennemskæres landskabet af mæandreende bække og åer, og de vandløbsnære arealer oversvømmes periodisk som et resultat af årets skiftende nedbørsforhold og udstrømning fra grundvandsmagasiner. Den biologiske kvalitet i vandløbene har gennem en årrække været diskuteret og undersøgt, og denne bestemmes i høj grad af vandløbets naturlige fysiske forhold, såsom hældning, og den deraf skabte strømhastighed og bundsedimenttype.

Det er dog de færreste vandløb, som i dag er at finde i denne tilstand. Mellem 90 % (Kronvang *et al.*, 2000 a) og 98 % (Søndergaard *et al.*, 2006) af de danske vandløb har gennemgået en udretning, kanalisering og gentagen vedligeholdelse, hvilket, i sammenhæng med en ændring i anvendelsen af de vandløbsnære arealer, har skabt betydelige ændringer i vandløbenes fysiske og dermed også biologiske tilstand (Søndergaard *et al.*, 2006).

Ændringerne i vandløbenes forløb er historisk betinget af de gældende samfundsinteresser. Gennem en længere periode, ca. 200 år, har der været et ønske om at benytte landskabet til landbrugsland, og for at skabe forhold, hvor jordene i højst mulig grad har kunnet anvendes i denne sammenhæng, har en kanalisering af vandløbene og dræning af jorden været nødvendig. Gennem gravning af kanaler og udlægning af drænrør, har de skabte markjorde kunnet holdes fri for oversvømmelser, som ellers ville skade landbrugets afgrøder. Flere jorde blev gjort tilgængelige for landbrugsmaskiner og en øget landbrugsproduktion.

Denne påvirkning af det danske landskab viste sig dog at have betydelige konsekvenser. I udretningen er vandløbenes bund- og strømforhold blevet mere ensartede, og dette har efterfølgende skabt forringede betingelser for dyreliv. Med den øgede anvendelse af de vandløbsnære arealer til intensivt landbrug, tilførtes organisk stof gennem udledning af større mængder af næringssalte, kvælstof og fosfor gennem udvaskning. Under naturlige forhold ville en stor del af dette være tilbageholdt i ådalene. Udvasningen af kvælstof og fosfat påvirker ikke umiddelbart vandløbene, men hvor vandet samles i søer, vil der i det relativt stillestående vand kunne opstå problemer med øget algevækst og deraf resulterende iltvind med konsekvenser for dyre- og planteliv.

Der kom langsomt mere fokus på problemerne i de danske vande, og i 1974 trådte den første egentlige miljøreform i kraft, i form af udarbejdelsen af Miljøbeskyttelsesloven, hvorigennem beskyttelse af vand, grundvand og overfladevand blev en del af denne lovgivning, og ikke længere hørte under loven om vandforsyning og loven om vandløb. Gennem årene er der sket en udvikling i indsatsområderne, og således fokuseredes indenfor vandområdet først på at begrænse udledningen af organisk stof til vandløbene, herefter på at mindske udledningen af fosfor fra spildevand, og i de senere år på at forbedre rensningen af spildevand og mindske udvaskningen af næringsstoffer fra landbruget (Andersen, 2005) (Sand, 1996).

Ovenstående indsatsområder er i høj grad indenfor vandløbenes vandkemi, og de biologiske forbedringer der følger af ændringer i denne. Ændringerne i vandløbets fysiske form og geografiske udbredelse, som resultat af kanaliseringen og dræningen havde også skabt betydelige forringelser i de

danske vandløbs naturkvalitet, blandt andet i form af en øget sedimenttransport. Siden 1982, hvor det i vandløbslovgivningen blev indført at vandløbene ikke blot havde til formål at aflede vand, men også indeholdt vigtige miljømæssige formål, er den fysiske vandløbsrestaurering blevet en del af den danske miljøindsats. I den fysiske restaurering genskabes næsten naturlige forhold i vandløbene, ved at der lægges vægt på principper om vandløbets naturlige udformning, slyngning, bundsediment og vekslende strømhastigheder, og de talrige projekter indenfor denne restaurering ligger indenfor enten restaurering af kortere strækninger, restaureringer der sikrer kontinuitet gennem vandløbet og projekter der medtager de nærliggende områder og ådalen (Hansen & Baattrup-Pedersen, 2006).

Til trods for store genetablerings- og restaureringsprojekter, henligger en lang række af de danske vandløb stadig som kanaliserede eller rørlagte vandløb, og med et stadig øget fokus på vandløbskvalitet og de egenskaber et velfungerende vandløb har, både rekreativt, økologisk og i forhold til naturværdi, synes det til stadighed vigtigt at undersøge effekten af restaureringen i de vandløb, hvor denne har fundet sted, for at have et vurderingsgrundlag til gennemførelse af yderligere restaureringer.

Dette projekt tager udgangspunkt i en skrivelse fra Odsherred Kommune fra 2008, hvori det fremgår, at der er opstået problemer med oversvømmelser på en ejendom, som gennemskæres af et mindre vandløb, og kommunen ”... er blevet opmærksom på at det vil forøge Skamlebækkens naturværdi, hvis strækningen nedenfor Skamlebækgård, som er delvist rørlagt, bliver åbnet.” (Odsherred Kommune, 2008).

I et specialestudie fra 2008-2009, udarbejdet på Aalborg Universitet, er der foretaget en vurdering af vandløbskvaliteten et halvt år efter restaureringen er gennemført. Dette projekt konkluderer, at Skamlebækken havde en relativt god økologisk tilstand før restaureringen, og at der umiddelbart efter restaureringen ikke er opnået samme tilstand i vandløbet. Det konkluderes, at der ville være risiko for erosion og nedsynkning af brinkerne, og at der kunne være foretaget en række yderligere tiltag i forbindelse med genetableringen, som kunne have forbedret restaureringsresultatet, herunder udplantning af græsser på vandløbets brinker. Endelig konkluderedes det, at det positive i restaureringen kan drages i tvivl, men at der også er behov for en længere tidsramme for at kunne give en fyldestgørende vurdering af restaureringens resultat.

Med dette projekt lægges fokus på at undersøge, hvorvidt målene for restaureringen af delstrækningen af Skamlebækken er nået efter 2½ år; hvordan sammenhængen er mellem de fysiske og biologiske forhold, og at undersøge hvilken vandløbskvalitet der i dag er at finde på strækningen. Fokus vil ligge på de fysiske forhold i vandløbet, og da disse skaber betingelser for, og kan indikeres gennem vandløbets biologi, her forstået som vandløbets beplantning og makroinvertebratsamfund, vil de biologiske forhold også blive indlejret i projektets undersøgelser.

1.1 Problemformulering

Hvordan er sammenhængen mellem de fysiske og biologiske forhold i Skamlebækken i dag, og hvilken udvikling er der sket i vandløbets fysiske forhold, planter og smådyr siden restaureringen i 2009?

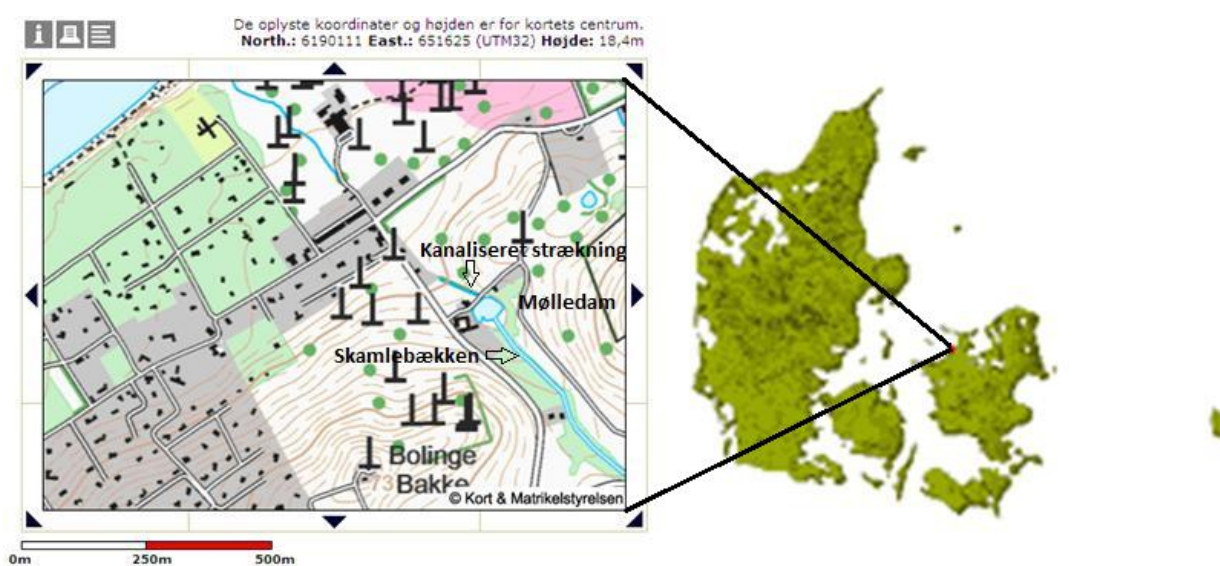
Dette undersøges idet;

- Vandløbsrestaurering forventes at skabe et udgangspunkt for at vandløbet kan udvikle sig i henhold til naturlige processer, hvis vandløbet er placeret topografisk rigtigt, det vil sige på det laveste sted.
- Vandløbets bredde og dybde vil øges i de første år efter restaureringen, idet vegetation vil indvandre og optage plads i vandløbet.
- Vandløbets bredde og dybde vil blive mere varieret, hvor der findes mæandreringer, men ikke hvor der udvikles stryg.
- Sammensætningen i vandløbets bundsedimenter vil ændres over tid, således at denne bliver mere finkornet, da naturlige eroderings- og transportprocesser vil afgrave og aflejre materiale fra vandløbets brinker.
- Strømhastighederne i vandløbet vil være mere varierede i naturlige vandløb end i regulerede vandløb, og de vil ændres efterhånden som vegetation indvandrer.
- Vandløbets beplantning vil ændres i årene efter en restaurering, og denne vil være med til at skabe variation i bundsedimenterne, således at der mellem vegetationen aflejres finkornet materiale, og omkring vegetationen vil findes mere grovkornet materiale.
- I naturlige vandløb forventes det, at der kan findes en stor diversitet og homogenitet i artssammensætningen af makroinvertebrater som resultat af diversitet i fysiske forhold, levesteder.

2 Skamlebækken

Skamlebækken er et kildevandløb, der udspringer ved foden af Diesbjerg i Odsherred Kommune på Nordvestsjælland (figur 2.1). Bækken løber fra sit udspring mod nordvest og løber ud i Sejerø-bugten på Skamlebæk Strand. Vandløbet ligger i et område, hvor jordbunden består af sandblandet lerjord (figur 2.2).

Vandløbet er opstemmet i forbindelse med en mølledam, som i dag ikke anvendes, og nedenfor denne opstemning har vandløbet gennem en årrække været udrettet og rørlagt (Odsherred Kommune, 2009).



Figur 2.1 Skamlebækkens placering på landkort, 1:25.000 (Kort- og Matrikelstyrelsen, ingen dato a).



Figur 2.2 Jordbunden omkring Skamlebækken. Skamlebækken er optegnet (Kort og Matrikelstyrelsen, ingen dato b).

Den restaurerede vandløbsstrækning ligger nedstrøms mølledammen, og således kan vandløbet forventes at have karakteristika af at være et vandløb med udspring i en sø, snarere end et vandløb

med udspring i en kilde med henblik på for eksempel temperatur og vandgennemstrømning. Det betyder at temperaturen og vandgennemstrømningen her vil være mere varieret gennem året, end i vandløb med udspring i kilder, da temperaturen her bestemmes af den i søen stillestående vandmasse, som kan opvarmes og nedkøles med årstiderne, og vandgennemstrømningen bestemmes af vandstanden i søen, og ikke af en kontinuerlig tilførsel af grundvand.

2.1 Restaureringen

Med restaureringen af en delstrækning af Skamlebækken lå et ønske om at forbedre dennes naturværdi, da strækningen henlå som delvist åbent udrettet vandløb, og delvist som rørlagt vandløb (figur 2.3). Opmærksomheden blev rettet mod denne strækning på grund af oversvømmelsesproblemer i det hus, hvor vandløbet var rørlagt i kælderen, og projektets målsætning lå således delvist i at undgå disse oversvømmelser. De yderligere målsætninger tog udgangspunkt i netop at fremme naturværdien. Det vurderedes på forhånd, at restaureringen ville kunne:

- give vandløbet et mere varieret forløb med høller og stryg.
- få området til at udvikles til et område 6210 (Overdrev og krat på mere eller mindre kalkholdig bund (*vigtige orkidélokalteter)).
- bidrage til at skabe forbedrede muligheder for områdets dyr og planter, herunder spidssnudet frø og stor vandsalamander (Odsherred Kommune, 2008).

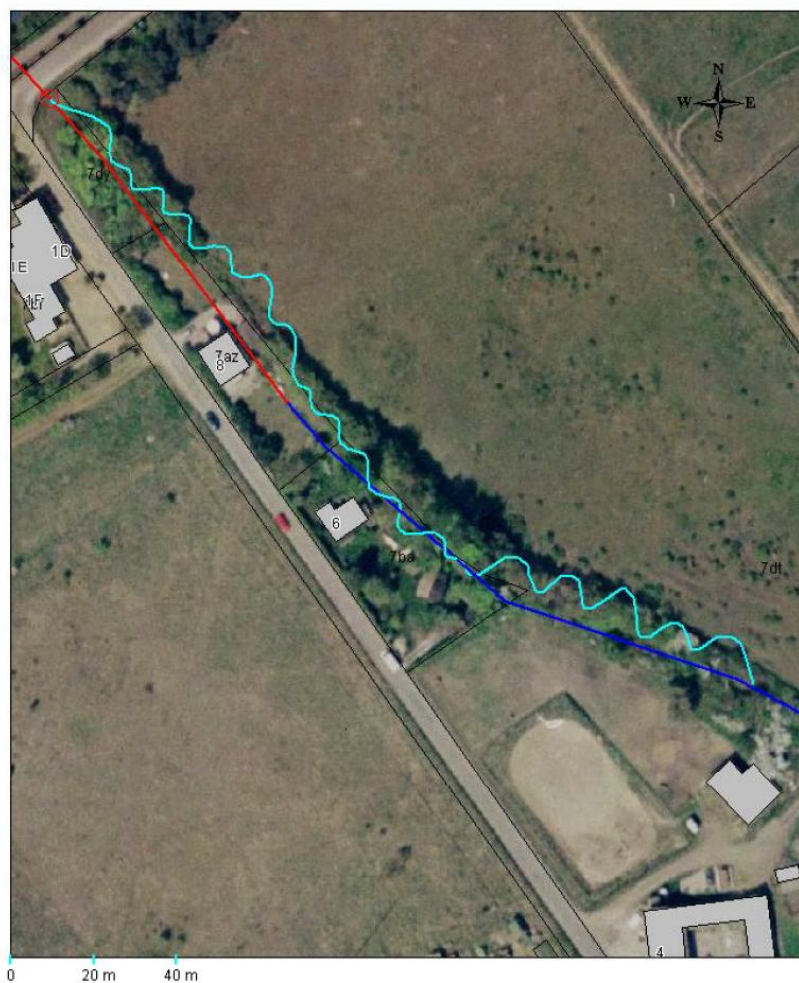


Figur 2.3 Skamlebækken før restaureringen. A: Åben og udrettet strækning ved Skamlebækvej 4 og 6. B: Begyndelsen på rørlagt strækning ved Skamlebækvej 8 (Jensen, 2011).

I planerne for restaureringen var udgangspunktet en åbning og genslyngning af vandløbet på strækningen, som gennemløber adresserne Skamlebækvej 4, 6 og 8 (figur 2.4). Oversvømmelsesproblemerne var at finde på Skamlebækvej 8, og således var ejerne her interesserede i, at vandløbet ikke længere gennemløb deres have, men i stedet udlagdes på et tilstødende markareal; en del af ejendommen på Skamlebækvej 4. Ejerne på Skamlebækvej 6 var ikke interesserede i, at der blev lavet ændringer i vandløbet ud for deres grund, og ejerne på Skamlebækvej 4 var interesserede i projektet på en form, hvor dette inddrog så lidt markareal som muligt og ikke involverede

mølledammen længere opstrøms. Således er der gennemført genslyngning og åbning af vandløbet på to delstrækninger, adskilt af strækningen langs Skamlebækvej 6, hvor vandløbet ligger som før restaureringen (Jensen, 2011).

En strækning på ca. 225 m af vandløbet blev i 2009 restaureret og genslynget efter at have ligget i et lige forløb på 75 m og et rørlagt forløb på 225 m, således at strækningen i dag er ca. 300 m. Beskrivelsen af restaureringen omfatter også en naturlig ændring i vandløbets hældning fra 30 promille til 22 promille over den givne strækning, idet at vandløbet forlænges gennem slyngningen. Den restaurerede strækning ligger på privatejet jord, og det er gennem et samarbejde med ejerne her, at forslaget til restaureringen er udarbejdet og efterfølgende gennemført af kommunen (Odsherred Kommune, 2008).



Figur 2.4 Skamlebækkens forløb før restaurering samt det planlagte forløb. Rød: rørlagt forløb før restaurering, mørkeblå: lige og åbent forløb før restaureringen, lyseblå: planlagt forløb (Odsherred Kommune, 2008).

I restaureringsprojektet har der været tale om en hovedsagelig fysisk restaurering, det vil sige en restaurering hvor der er genslynget og udlagt bundsediment. Der er foretaget begrænset biologisk restaurering, og denne er foretaget på vandløbets brinker. Der er plantet enkelte træer, men der er ikke sået græs på brinkerne, som det ellers anbefales for at sikre at skråningerne ikke falder sammen (Wandall *et al.*, 2000). Såning af græs er af Odsherred Kommunes biologer vurderet til ikke at være en

mulighed, idet området er indenfor Natura 2000-beskyttelsen, og overdrevet omkring vandløbet er omfattet af § 3 i naturbeskyttelsesloven (figur 2.5).



Figur 2.5 Skamlebækkens placering i EF-habitatområde. Skamlebækken er et beskyttet vandløb opstrøms mølledammen (Kort og Matrikelstyrelsen, ingen dato b).

Fra Odsherred Kommunes side henvises desuden til, at vandløbet vil have en bedre mulighed for at finde sit eget leje, hvis det ikke bliver fastlåst fra starten i forbindelse med tilsåning af brinkerne. I stedet for vil de plantearter, der i forvejen er i området, have mulighed for naturligt at indfinde sig på brinkerne. Det er valgt at hjælpe vandløbet lidt på vej i form af beplantning, som holder på brinkerne og virker skyggegivende, gennem plantning af træer på brinkerne (Jensen, 2011). I sådanne projekter anbefales det at benytte rødel, mens pil frarådes, da denne vil kunne vokse ud i vandløbet og dermed ændre forløbet (Wandall *et al.*, 2000). I dette resatureringsprojekt er det netop rødel, eg og hyld, som er udplantet (Jensen, 2011). Ved mindre vandløb, der er under 2 m brede, som Skamlebækken, er det for det meste dog ikke nødvendigt at plante træer og buske, idet urtebeplantning langs vandløbet vil kunne give den fornødne skygge (Wandall *et al.*, 2000), men da en sådan som udgangspunkt ikke er til stede ved Skamlebækken, kan de udplantede træer være en løsning.

Efter restaureringen er græsser indvandret til vandløbets brinker og disse fremstår i dag med fuld vegetation.

2.2 Fremtidig restaurering

I de udkast til statens vandplaner, som har været til høring, er der opstillet krav om, at der inden 2015 opføres faunapassage ved mølledammen, og at der åbnes for den rørslatte strækning nedstrøms den allerede åbnede strækning (Jensen, 2011).

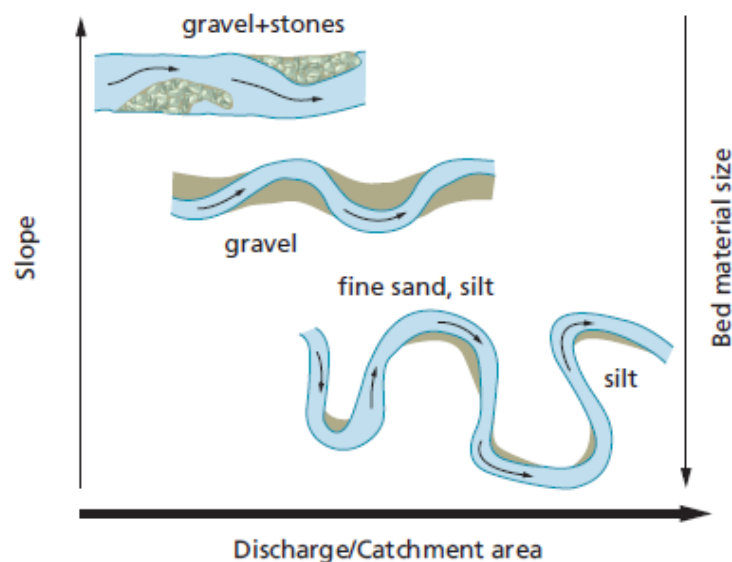
3 Vandløbet

Gennem dette kapitel vil de fysiske og deraf følgende biologiske forhold for vandløb blive gennemgået. Herunder hører vandløbets udformning, strømforhold, vandføring, bundsediment, og som resultat af og i samspil med disse fysiske parametre; vegetation og makroinvertebrater.

3.1 Vandløbets form

Når vandløb gennemskærer landskabet, bliver forskellene og lighederne i deres udformning tydelig. I stor skala findes der naturligt 3 overordnede typer vandløb. Disse karakteriseres som lige, slyngede og flettede vandløb, om end de lige vandløb oftest er at finde som resultat af menneskets påvirkninger af vandløbet, og kun på kortere strækninger vil findes naturligt lige (Skinner *et al.*, 2004). I en dansk sammenhæng benyttes karakteriseringen lige, sinuøse og mæandrende vandløb oftest (figur 3.1) (Pedersen *et al.*, 2006 a).

Vandløbets form afhænger af forholdet mellem landskabets fald, vandløbets vandføring og vandløbets sedimenttransport, både suspenderet i vandsøjlen, og på bunden. Desuden er sammensætningen af jordbunden, som vandløbet gennemløber, også af betydning (Skinner *et al.*, 2004). Således kan det observeres, at des stejlere fald, des mere lige vil vandløbet være, og des mindre kornstørrelser jordbunden består af, des mere mæandrende vil vandløbet være. Efterhånden som afstrømningen og oplandsarealet stiger, vil vandløbets slyngningsgrad øges (figur 3.1).



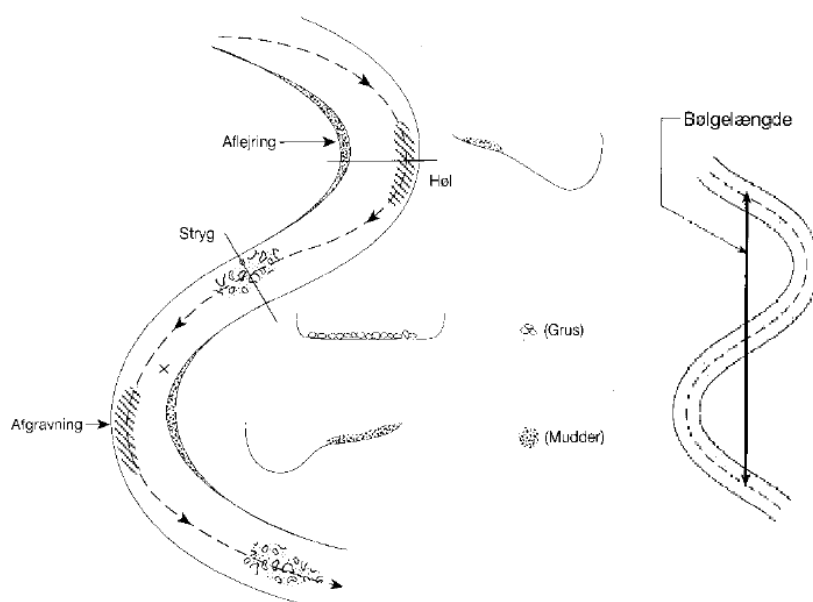
Figur 3.1 Klassifikation af danske lavlands vandløb. Udformningen afhænger af hældning, jordbundens sammensætning og vandføring eller oplandsareal (Pedersen *et al.*, 2006 a).

I dette afsnit vil blive fokuseret på betegnelserne for danske lavlandsvandløb, sinuøse eller mæandrerende vandløb og det lige vandløb, idet undersøgelsesstrækningerne har gennemgået en restaurering fra lige til sinuøst og mæandrerende vandløb.

3.1.1 Det sinuøse og mæandrerende vandløb

Hvor lavlandsvandløb findes i deres naturlige form uden menneskelig påvirkning, vil det oftest kunne observeres, at vandløbene slynges gennem landskabet i mæanderbuer (figur 3.2). Mæanderbuer findes, hvor vandløbet har et svagt fald, og hvor jordbunden består af fine sedimenter. Mæanderbuer er et resultat af hvordan vandets strømning påvirkes af den modstand det møder, samt hvordan energien forsøges ligeligt fordelt over vandløbets forløb samt påvirkning fra Corioliskraften (Skinner *et al.*, 2004). I mæanderbuerne opstår desuden en sekundær strøm, som også er med til at forme mæanderbuerne. Bevægelserne i denne strøm minder om prop-trækker strømninger, og de opstår netop i forsøget på at fordele energien og vandet jævnt. Denne sekundære strøm er et resultat af centrifugalkræfter og trykgradienter (kapitel 3.2) (Robert, 2003).

I det danske landskab findes mæandrerende vandløb naturligt grundet den geologiske udvikling i det danske område, som har resulteret i en sedimentær jordbund, og relativt fladt landskab. De mæandrerende vandløb vil alle være forskellige i deres udformning, men en række fællestræk gør sig gældende. På lige dele af vandløbsstrækningerne er vandløbet lige dybt over hele tværsnittet, og bunden består oftest af grovkornet materiale, grus og sten. Disse dele kaldes stryg, og strømhastigheden er her høj. I mæanderbuerne er mere asymmetriske bundforhold; den ene side af tværsnittet er betydeligt dybere end den anden. Den dybe side betegnes høl, og her skærer vandets strømning ind i brinken og graver materiale af. I den lave side af transektet kan vandløbsbunden være næsten flad og danne et plateau, og her aflejres fint materiale på grund af den lavere strømhastighed, der er at finde her (figur 3.2) (Madsen, 1995).



Figur 3.2 Strøm-, bundsedi ment- og dybdeforhold i mæandrerende vandløb (Madsen, 1995).

Kendetegnende for det naturligt mæandreende vandløb er således de store forskelle i strømhastigheder og bundsedimenter, hvorved der skabes betydelig variation i levesteder.

Der synes desuden at være et fast mønster for vandløbenes mæandreringer, afhængende af vandløbets bredde. Vandløbets bølgelængde er generelt 10-14 gange vandløbets bredde, således at vandløb med en stor bredde har en længere bølgelængde end smallere vandløb (Madsen, 1995).

Når vandløb restaureres, er det netop denne naturlige mæandrering, der ønskes genskabt, med baggrund i den viden der findes om de mange forskellige habitater, der netop skabes ved denne vandløbsform. For at skabe et udgangspunkt for et vandløb i balance, kan en slyngning med en bølgelængde på 10-14 gange vandløbets bredde derfor være at foretrække.

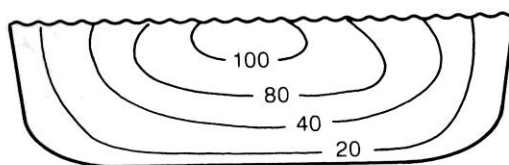
3.1.2 Det lige vandløb

I det danske landskab vil små vandløb ofte have et lige forløb. Naturligt vil de lige vandløb oftest være at finde i vandløbets øvre forløb, og findes hvor jordbunden er bestående af grovkornet materiale (Pedersen *et al.*, 2006 a). Der er i en dansk sammenhæng dog i langt de fleste tilfælde tale om menneskeligt påvirkede vandløb, som gennem opgravning og gentagen vedligeholdelse har fået denne udformning. I disse vandløb ses ikke de samme variationer i bundmateriale, strømhastighed og dybdeforhold, som kendetegner det naturlige vandløb. Da strækningen vandløbet forløber over er mindsket, vil disse vandløb have et større fald, og den ensartede strømhastighed gennem hele vandløbet vil give en ensartet bund, som ofte består af sand. Ydermere vil dræning resultere i, at der tilføres fint sand til vandløbene, som aflejres på bunden. Dette skaber begrænsede levesteder for fisk og smådyr. Ud over disse begrænsninger i levesteder vil det øgede fald give en øget strømhastighed og dermed kraftpåvirkning, som vil kunne erodere af brinkerne og bunden, og transportere store mængder af sediment langs vandløbet. Dette er særligt gældende, hvor brinkerne ikke er dækkede af planter, og der ikke er rødder at finde. Der vil her kunne ske en undergravning og nedsynkning af brinkerne med øget krav om vedligeholdelse til følge. I naturligt mæandreende vandløb findes også en vis naturlig sedimenttransport grundet afgravning af brinkerne ved høl. I disse vandløb transporteres sedimentet dog ikke langt i vandløbet, da de konstante variationer i strømhastigheden gør, at sedimentet oftest vil blive aflejret nær stedet det blev afgravet. Erosion sker i ydersiden af mæanderbuen og aflejring finder typisk sted i den næste nedstrøms mæanderbues point-bar, da strømhastigheden her er lav (Madsen, 1995).

3.2 Strømforhold

Tegnes en tværsnitsprofil på et vandløb, vil det kunne observeres at hastigheden vandet strømmer med er varierende gennem dette profil (figur 3.3). Vandet strømmer langsomt langs bunden og siderne, og hastigheden øges mod midten og overfladen af vandløbet, dog med en mindre hastighedsnedsættelse umiddelbart ved overfladen. Den lave hastighed ved bunden skyldes friktion med sedimenterne her, og den mindre hastighedsnedsættelse ved overfladen skyldes at også luften giver en svag friktion (Sand-Jensen & Lindegaard, 1996). Ser man bort fra denne hastighedsnedsættelse ved vandets overflade, kan vandets hastigheder som funktion af afstanden til bunden beskrives som en logaritmisk hastighedsprofil, og strømhastigheden stiger således betydeligt mod vandløbets midte (Robert, 2003).

Når vandet strømmer ind i en mæanderbue påvirkes det af en udadgående centrifugalkraft. Dette medfører at vandoverfladen hæves i ydersiden af svinget som følge af denne udadrettede centrifugalkraft. Det skaber en trykgradient mod mæanderbuens lavvandede side, point-bar'en, da vandsøjlen er mærkbart forøget i ydersiden af buen i forhold til indersiden af buen. For at skabe balance i dette, fremkommer den sekundære strøm, der fordeler energien ligeligt i vandløbets forløb (Robert, 2003).



Figur 3.3 Vandets hastighed i et tværsnit på en lige strækning af et vandløb. Isolinjerne viser den samme strømhastighed i cm/s (Sand-Jensen & Lindegaard, 1996).

Vandløbets bredde og dybde er således betydende for, hvor hurtigt vandet strømmer, idet der i mindre vandløb vil være en stor andel af vandet, som har en betydelig friktion med vandløbets bund og sider sammenlignet med de større vandløb (Pedersen *et al.*, 2006 b).

Vandets hastighed er bestemt af vandløbets fald, således at et højt overordnet vil betyde en høj hastighed. Den hastighed vandet strømmer med, er bestemmende for hvilket bundmateriale der er i vandløbet. Således vil kornstørrelsen, der kan transporteres, stige med stigende dybde og øget strømhastighed

3.3 Sedimenter

Sedimenternes tilstedeværelse og udbredelse i såvel vandsøjlen, som på bunden hænger sammen med vandløbets udformning og de skiftende hastigheder, der er at finde i vandløbet. Af denne årsag findes det at: *"Most natural bed sediments are highly heterogenous, i.e. characterized by a fairly wide range of grain size."* (Robert, 2003, s. 56). Flere forklaringsmodeller er forsøgt udlagt i forhold til hvad der skal til for at skabe erosion af bunden i vandløbet, og således hvad der skaber de bundsedimentforhold, som findes i vandløbet. Den mest udbredte forklaring bygger på en balance mellem kræfterne i sedimentpartiklernes vægt og vandets kræfter. Der må således foreligge en tærskelværdi i den kraft vandet skal yde for bevægelse af sedimenter med bestemt diameter og sammenhængskraft (Robert, 2003). Dette kommer i vandløbene til udtryk igennem de varierede sedimentdækker, der kan findes ved områder i vandløbet med forskellige strømhastigheder (figur 3.2). Dette ses, da der her netop er varierede strømforhold ved høller og stryg, hvor aflejring og transport skifter gennem vandløbet. Vandløbets sedimenter er bestemt af det område vandløbet gennemløber, og den erosion der sker af brinkerne. På stryg vil bundsedimentet hovedsagligt udgøres af grovkornet materiale, mens der særligt ved mæanderbuens point-bar vil være fintkornet materiale.

3.3.1 Tilførsel af sedimenter

Materiale fra vandløbets brinker kan udgøre en betydelig del af vandløbets bundsediment. Erosionen af vandløbets brinker kan overordnet inddeles i to hovedgrupper; strømnings erosion og erosion som resultat af brinkernes modtagelighed for erosion. Strømningserosion henviser til de kræfter vandet påvirker brinkerne med, og som gør, at enkeltpartikler kan rives løs, mens brinkernes modtagelighed overfor erosion henviser til det materiale, partikler, brinkerne er sammensat af. Processer forbundet med denne erosion er forvitring og dermed svækkelse af jordens sammenhængskraft. Som eksempel kan nævnes at dårligt dræned jorde har en mindre modstandskraft overfor erosion (Robert, 2003).

Vegetation på brinkerne synes at have en dobbeltsidet effekt. I visse tilfælde vil vegetationen stabilisere brinkerne, idet rodnettet er med til at holde på partiklerne, men hvor brinkerne er betydeligt højere end planternes rodnet kan nå i dybden, er der ikke samme stabiliserende effekt. Planterne kan dog være med til at fjerne noget af vandet fra jorden, således at også en dårligt drænet jord bliver mere modstandsdygtig overfor erosion (Robert, 2003).

Sedimenternes sammensætning på vandløbets bund viser i høj grad hvilken vandløbskvalitet, der er at finde. Varierer sedimenterne, varierer levestederne for makroinvertebrater også, og af denne grund kan et naturligt vandløb med variation i bundsedimenterne skabe basis for en stor diversitet i makroinvertebratsamfundene.

3.4 Vegetation

Vandløbets planter, grøde, og de planter der er at finde i umiddelbar nærhed af vandløbet kan være en god indikator for, hvordan den fysiske tilstand er i vandløbet. Mange af de danske vandløb har en stor plantevækst, idet de ligger frit uden omkringstående skyggegivende træer, og den lave strømhastighed, der ofte er at finde i danske vandløb, skyldes de beskedne hældninger i det danske landskab, samt de gode næringsforhold, der også er med til at give gode vækstbetingelser. Vandløbets planter er vigtige for tilstedeværelsen af smådyr og fisk, da de fungerer som fødegrundlag og strømlæ. Des mere varieret beplantningen er, des mere varieret vil levestederne for fisk og smådyr være, og det vil således betyde at flere forskellige arter vil kunne findes i vandløb med en varieret beplantning (Baatrup-Pedersen, 2000). Vandplanterne skaber varierede leveforhold, idet der mellem planterne, hvor disse er tætte med mange blade, er strømhastigheder på ned til 10-20 % af de der kan observeres udenfor beplantningen. Dette skaber mulighed for at der her aflejres fint-kornede sedimenter med organisk stof og plantenæringsstoffer. Omkring vegetationen vil strømhastigheden være betydeligt højere, netop for at kompensere for den manglende vandføring gennem planten, og derved skabes mere turbulens og en grovkornet vandløbsbund (Sand-Jensen & Lindegaard, 1996).

Således er en vis dækningsgrad af vandplanter af både emergente planter og undervandsplanter at regne som en positiv parameter, mens en meget høj dækning kan betegnes som en negativ parameter i henhold til det fysiske indeks (Pedersen & Baatrup-Pedersen, 2003). I medtagelsen af denne parameter i et indeks, der er udarbejdet som en referenceramme for vurdering af den fysiske tilstand i vandløb, herefter henvist til som det fysiske indeks, er der taget højde for, at mængden af grøde er bundet til hvor lysåbent landskabet er, og hvilken grad af grødeskæring der er at finde, og således er en middeldækning valgt som optimum (Pedersen *et al.*, 2006 b).

3.5 Vandløbets fauna - Makroinvertebrater

I dette afsnit vil blive fokuseret på vandløbets makroinvertebrater. Fisk som findes i en del af de danske vandløb, vil ikke blive behandlet her, da der ikke er fisk i dette projekts case-vandløb.

Makroinvertebrater er en divers gruppe af organismer, som findes i næsten alle vandløb, og kun hvor der er særligt hårde livsbetingelser, fysisk, eller stor forurening, vil de ikke være at finde. Makroinvertebrater henviser til invertebraternes størrelse, og der er her tale om organismer der tilbageholdes i et net med en maskestørrelse på 500 µm. Ofte anvendes en mindre maskestørrelse end dette, da der til betegnelsen makroinvertebrater også medregnes organismer, som i tidlige livsstadier vil være mindre end 500 µm, men som i det voksne stadie vil være over denne grænse (Hauer & Resh, 2006).

Når tilstanden i et vandløb skal undersøges, er tilstedeværelsen af makroinvertebrater mere sigende for vandløbets kvalitet end vandets kemi idet ”...*biological monitoring provides a ”moving picture” of past and present conditions, and hence a more spatially and temporally integrated measure of ecosystem health.*” (Carter *et al.*, 2006).

Makroinvertebraterne benyttes til beskrivelse af vandløbets tilstand, idet der med vandets iltindhold, som afhænger af bundforhold, strømforhold og mængden af forurening, skabes forskellige betingelser for liv i vandløbet, som kan afspejles gennem tilstedeværelsen eller fraværet af bestemte makroinvertebrater med forskellige krav til deres habitat.

Særligt interessant i forhold til makroinvertebrater er diversiteten i de samfund der er at finde under de givne fysiske forhold. Med diversiteten henvises her til antallet af forskellige arter, men også til homogeniteten i antallet af individer indenfor hver art. Dette er interessant, da gode fysiske forhold i vandløb, det vil sige vandløb med en naturlig mæandring med høller og stryg, og det deraf følgende bundsediment, giver varierede levesteder, og dermed baggrund for et artsrigt vandløb med en ligelig fordeling mellem arterne. Dette kan vurderes gennem Shannon-Wiener diversitet, som netop tager højde for disse parametre. Vandløb opnår her oftest indeksværdier mellem 1 og 4, og ved skovvandløb, kan indeksværdier på 5 opnås (Jacobsen, 1998).

3.6 Erfaringer fra tidligere restaureringsprojekter

I dette afsnit gennemgås resultaterne fra en række tidligere restaureringsprojekter. Dette skal, i sammenhæng med de foregående afsnit om fysiske og biologiske forhold i naturlige vandløb benyttes som et udgangspunkt for en analyse af tilstanden i Skamlebækken, og som et forventningsgrundlag for den fremtidige udvikling. Det skal her nævnes, at vandløbene, der her refereres til, ikke nødvendigvis er i samme skala, dybde, bredde og strømforhold som Skamlebækken, men det forventes, at der kan drages visse paralleller.

3.6.1 Lindved Å

I et restaureringsprojekt af en delstrækning af Lindved Å på Fyn er der foretaget overvågning i en periode på 10 år efter restaureringen. Overvågningen er foretaget i forhold til udviklingen i fysiske og

biologiske forhold, og det er fundet, at der efterfølgende er sket en udvikling i blandt andet bundforholdene, makroinvertebraterne og vandløbets beplantning. I undersøgelsen sammenlignes udviklingen på de restaurerede strækninger med udviklingen på ikke-restaurerede strækninger i samme periode (Sode, 2005).

I Lindved Å er bundforholdene i de restaurerede dele af vandløbet ændret, således at dybden er øget, og at der på strækninger med udlagt grus er sket en gradvis tilsanding. Tilsandingen menes at stamme fra en opstrøms strækning, som stadig ligger reguleret, da det vides, at der på denne type strækninger er en større sedimenttransport. Det observeres dog også, at der er skift i denne tilsanding, og der menes at være en årstidsvariation, således at mængden af vand i vandløbet betinget af store og små regnskyl ændrer graden af tilsanding, og at der til tider vil kunne ses, at denne tilsanding er betydeligt mindre. Dybden i vandløbet er øget, idet der er sket en gradvis tilvoksning i vandløbet (Sode, 2005).

I overvågningen af Lindved Å er det fundet, at der efter restaureringen er sket en forøgelse af individantallet indenfor få måneder efter restaureringen. Samtidig er artsdiversiteten også øget sammenlignet med forholdene på en referencestrækning. Udviklingen i smådyrsfaunaen har været mest markant de første 2-3 år, og det er observeret, at der først er sket en vækst i antallet af makroinvertebrater, der lever i blød, mudret bund, og efterfølgende er der sket en tilvækst og fundet en mere stabil artssammensætning med en tilstedeværelse af smådyr som lever på fast bund. Tætheden af makroinvertebrater har været størst de første 3-4 år, hvorefter forholdene har udviklet sig i retning af en undersøgt referencestrækning, og således er tætheden faldet (Sode, 2005).

I de nyrestaurerede dele af Lindved Å er det fundet, at den hurtigste vækst i bundplanter er sket i de første 3-5 år. Vandløbsstrækningerne er herefter ikke dækket af beplantning i samme grad, da skyggegivende træer begynder at fremkomme. Vandløbets beplantning bevæger i artssammensætning og dækningsgrad mod forholdene på referencestrækningen. Udviklingen har været hurtigst i de første 2-3 år, men efter 9 år, er der stadig forskelle på strækningerne (Sode, 2005).

3.6.2 Esrum Å

I et restaureringsprojekt af en del af vandløbet Esrum Å på Sjælland, er der efterfølgende foretaget en evaluering af effekterne 4 år efter restaureringens fuldførelse. Vandløbet har gennemgået en fysisk restaurering, og der er foretaget evaluering i forhold til de makroinvertebrater, der er at finde i vandløbet. Her foreligger ikke data for makroinvertebrater inden restaureringen, og vurderingen foretages derfor ved en sammenligning med ikke-restaurerede strækninger (Gørtz, 1998).

I Esrum Å udlagdes ikke nyt bundsubstrat, men blot såkaldte strømkoncentratorer langs vandløbsbredden. Disse resulterede i at vandets hastighed øgedes i midten, og der kom områder med strømlæ langs vandløbskanten, og at bunden også ændrede karakter betydeligt, og 4 år efter fremstod med en betydeligt mere grovkornet sammensætning (Gørtz, 1998).

I Esrum Å, kunne det observeres, at der efter 4 år gennem restaureringen var sket en sådan ændring i bundsedimenterne, at positive ændringer kan ses i faunaen. En betydelig ændring sås i antallet af rentvandsarter, som efter de fire år var markant større på den restaurerede strækning, og artssammensætningen var generelt flyttet mod faunatyper tilknyttet stenet bund (Gørtz, 1998).

3.6.3 Gudenåen

I en delstrækning af Gudenåen er i forbindelse med et restaureringsprojekt foretaget en undersøgelse af udviklingen i beplantningen 2 år efter gennemført restaurering. Der undersøges her både for planter i vandløbet, på brinkerne, og i vandløbets ådal (Baattrup-Pedersen *et al.*, 2000).

Undersøgelse viste, at der her var den samme artsrigdom før og efter restaureringen. Undersøgelsen viste desuden, at 2 år ikke er tilstrækkeligt for at nå samme plantedække som før restaureringen, hvorimod brinkerne efter denne periode viste sig at være næsten fuldt tilvoksede (Baattrup-Pedersen *et al.*, 2000).

3.6.4 Gels Å

I det sydlige Jylland er også foretaget evaluering på et restaureringsprojekt på en delstrækning af Gels Å 8 år efter restaureringen. Her blev de fysiske forhold i vandløbet evalueret. Evalueringen blev foretaget ved at sammenholde den restaurerede strækning med en ikke-restaureret strækning opstrøms (Kronvang *et al.*, 2000).

I Gels Å viste evalueringen, at vanddybden gennemgående var lavest og strømhastigheden højest i den restaurerede del af vandløbet. Dette hænger sammen med, at der i restaureringen af vandløbet netop er udlagt flere stryg, hvor der vil findes en høj strømhastighed. Desuden viste undersøgelsen, at bunden i vandløbet generelt var mere grovkornet, og at der var flere store sten i vandet i den restaurerede strækning sammenholdt med den ikke-restaurerede strækning. De store sten i vandløbet menes at stamme fra nedsynkning af brinker på den restaurerede strækning, hvor disse ellers havde været benyttet til at stabilisere brinkerne. I undersøgelsen blev det her klarlagt, at der var betydeligt flere stryg på den restaurerede strækning sammenholdt med den ikke-restaurerede strækning, i overensstemmelse med restaureringens udgangspunkt (Kronvang *et al.*, 2000).

3.6.5. Skjern Å

I Skjern Å er en 19 km kanaliseret strækning blevet omlagt til en 26 km lang mæanderende strækning. Denne restaurering er fulgt i et studie af kort-tidseffekterne, og der er således før og efter restaureringen foretaget dataindsamling for både fysiske og biologiske forhold på tre undersøgelsesstrækninger og en referencestrækning.

Vandløbet blev udlagt med 46 mæanderbuer, og der kunne efter restaureringen måles en betydeligt højere strømhastighed, ca. 30 % højere. Desuden blev dybden mere varieret, og grundet udlægning af grus i forbindelse med stryg, steg dækningsgraden af grus fra 4 % til 9 % af vandløbsbunden (Pedersen *et al.*, 2007).

I Skjern Å fandtes en betydeligt større artsrigdom indenfor makroinvertebraterne 3 år efter restaureringen end der fandtes før restaureringen, og det viste sig også, at der var en større homogenitet i makroinvertebratsamfundene. Én art dominerede således ikke længere. I forhold til plantesamfundene kunne der efter restaureringen konstateres en lavere dækningsgrad, hovedsagligt pga. et fald i andelen af vegetation i de lavvandede områder nær vandløbsbredden (Pedersen *et al.*, 2007).

3.6.6 Den samlede udvikling

Disse undersøgelser viser således, at vandløbene er i en konstant udvikling, og at der efter en restaurering vil kunne findes grovere bund, både i de tilfælde hvor grovkornet materiale er udlagt i restaureringen og i de tilfælde, hvor der blot er udlagt strømkoncentratorer. Der sker altså en forøgelse af strømhastigheden i de restaurerede vandløb, til trods for at en genslyngning mindsker faldet. Det kan muligvis hænge sammen med at vandløbenes tværsnit er blevet mindsket gennem restaureringerne. I nogle tilfælde ses der en forøgelse af vanddybden på grund af øget beplantning i vandløbet, mens der i andre tilfælde ses en lavere vanddybde. Dette kan skyldes tidsperspektivet, da den største plantevækst er at finde i de første 2-3 år efter restaureringen, hvor vandløbene ofte vil ligge lysåbne. Når trævegetationen tager til, vil grøden igen aftage.

I visse vandløb er der set en tilsanding, og det tyder her på, at det er vigtigt i restaureringsprojekter at være særligt opmærksom på fortsat regulerede strækninger opstrøms. Der er mulighed for, at problemerne løses ved anlæg af mindre søer, som fungerer som sandfang.

Udviklingen i makroinvertebratsamfundene sker i særlig grad i de første 2-3 år efter en restaurering, og herefter ser det ud til, at samfundene begynder at ligne de, der vil findes i referencetilstanden.

Udviklingen i makroinvertebratsamfundene ser desuden ud til at hænge sammen med den udvikling, der er i vandløbets vegetation, og også med den periode vandløbet bruger på at nå en stabil situation i de fysiske forhold. Dette dog med det forbehold at alle vandløb er i en konstant udvikling og stabilsituationen forbindes her med en naturlig kontinuerlig udvikling.

4 Metoder

På vandløbsstrækningen udvælges 3 delstrækninger, hver à 10 m (figur 4.1). Disse strækninger er udlagt efter tidligere undersøgelser, således at der vil være en mulighed for sammenligning over tid og dermed en analyse af forandringerne i vandløbet.



Figur 4.1 De tre vandløbsstrækninger: Blå=1, rød=2, grøn=3. (Odsherred Kommune, ingen dato).

Undersøgelserne og yderligere observationer vil blive samlet i et indeks for fysisk kvalitet i vandløb. Derudover vil de enkelte undersøgelser blive behandlet hver for sig, og undersøgt gennem tid, og efterfølgende sammenlignet, for at finde sammenhæng mellem de forskellige fysiske og biologiske parametre.

4.1 Fysisk indeks

Det fysiske indeks indeholder kriterier i henhold til:

- strækningsparametre, som forholder sig til vandløbets udformning
- vandløbsparametre, indeholdende vegetationsbestemmelser
- substratparametre, herunder dækningsgrad af sedimenttyper
- en række supplerende parametre, som ikke falder under de øvrige forhold.

Til hver af de gældende parametre er tillagt en intensitetsværdi, som afspejler i hvor høj en grad denne parameter bør være til stede i naturlige vandløb. Yderligere tillægges den fundne intensitetsværdi en faktorværdi, som afspejler hvor betydningsfuld den gældende parameter er i sammenligning med de andre parametre. Intensitetsværdi og faktorværdi ganges, og der findes således en samlet værdi for den enkelte parameter i vandløbet. Sammenlægges alle værdierne, vil der opnås en samlet indekssværdi (Pedersen *et al.* 2006 b).

4.2 Bestemmelse af bundsedimenter

Bundsedimenterne i vandløbet viser hvordan vandhastighederne er i vandløbet på de enkelte målepunkter, idet vandets hastigheder er bestemmende for transporten af sediment med forskellige kornstørrelser (Skinner *et al.*, 2004).

Materialer:

Pløkke, målebånd, snor, mukkert.

Forsøgsgennemgang:

Målebåndet udspændes vinkelret på vandløbet, og 25 cm længere opstrøms udspændes en snor, ligeledes vinkelret på vandløbet. I rektangler på 5x25 cm registreres nu dækningsgraden af de forskellige sedimenter.

Der inddeles i sten, 60 mm, gydegrus, 10-60 mm, fint grus, 2-10 mm, sand, 66 mikrometer til 2 mm, og mudder, mindre end 63 mikrometer (Pedersen & Baattrup-Pedersen, 2003).

4.3 Bestemmelse af vandhastigheder

Vandhastighederne i vandløbet afspejler den fysiske udformning af vandløbet, og variationer vil være at finde ved mæanderbuer, mens mere ens strømhastigheder vil være at finde ved stryg.

Materialer:

Målebånd, pløkke, mukkert, målepropel med dataregistrering

Forsøgsgennemgang:

Vandets hastigheder (v) måles i flere tværsnit på hver delstrækning. Ved målingen udspændes et målebånd vinkelret på vandløbets forløb, og der udvælges et antal vertikale målesteder; i dette tilfælde hver 10. cm. Vandets hastighed måles herefter, hvor det er muligt, ved vandløbsbunden og nær vandets overflade, 4 og 8 cm fra vandløbsbunden, for at dække de forskelle der må være i vandhastighed i vandsøjlen. Målepropellen placeres lodret i de udvalgte punkter med propellen vendt mod strømrretningen. Udstyret indstilles til at registrere antal omdrejninger i et passende tidsrum, her 30 s.

Antallet af propelomdrejninger kan efterfølgende omregnes til en hastighed, ved først at udregne antal omdrejninger pr s. (n). Afhængigt af størrelsen af n , vil to forskellige formler skulle benyttes til udregningen af vandets hastighed i punktmålingen:

1. Ved $n < 0,52$: $v = 0,2369 \cdot n + 0,016$
2. Ved $9,81 > n > 0,52$: $v = 0,2542 \cdot n + 0,007$
(OTT Messterchnik, propelnr. 164310)

4.4 Bestemmelse af grødevækst

Grøde er den vegetation, som vokser i vandløbet, og mængden og sammensætningen af denne er i høj grad betinget af og en indikator for de fysiske forhold i vandløbet. Indenfor vandløbets vegetation skelnes i bestemmelsen af det fysiske indeks mellem undervandsplanter, det vil sige arter hvor hele

planten er at finde under vandoverfladen, og emergente planter, hvor størstedelen af plantens stængler og blade er over vandoverfladen. Herudover vurderes også tilstedeværelsen af udhængende landplanter, rødder i vandløbet og anden fysisk variation.

Materialer:

Pløkke, målebånd, snor, mukkert, plastikposer.

Forsøgsgennemgang:

Målebåndet udspændes vinkelret på vandløbet, og 25 cm opstrøms udspændes en snor ligeledes vinkelret på vandløbet. Dækningsgraden af de ovennævnte parametre bestemmes i kvadrater à 25x25 cm, og der indsamles et eksemplar af de forskellige plantearter til videre bestemmelse. På lokaliteten foretages desuden en bestemmelse af dækningsgraden af de enkelte arter.

Til bestemmelse af vandløbets planter benyttes Danmarks Miljøundersøgelsers udgivelse ”Danske vandplanter” fra 1990.

4.5 Prøvetagning og udsortering af makroinvertebrater

Homogeniteten og artsantallet af makroinvertebrater er en indikator for den økologiske tilstand i vandløb. Undersøgelserne foretages her som en modificeret udgave af den angivne i Dansk Vandløbs Fauna Indeks (Miljøstyrelsen, 1998), ved brug af en surberprøvetager på 200 cm² i stedet for et sparkenet.

Materialer:

Surberprøvetager med åbning på 15x15 cm og en tilspidset netpose med maskestørrelse på 200 µm

Plastbøtter med låg til opbevaring af makroinvertebrater efter prøvetagning

Sigte med maskestørrelse på 600 µm og hvide plastbakker til udsortering

Pincet (”blød”, så makroinvertebraterne kan undersøges uden at skades)

Glas til opbevaring efter udsortering

Sprit (ethanol 70 %) til konservering

Stereolup

Prøvestationer:

Indenfor hver af delstrækningerne indsamles makroinvertebrater i 6 transekter med én indsamling pr. transekt efter anvisninger af Morten Lauge Pedersen. På én delstrækning udtages kun 3 prøver. Dette giver et samlet antal prøver på 15.

Forsøgsgennemgang:

Ved prøvetagningen placeres surberprøvetageren på vandløbsbunden i midten af vandløbet (figur 4.2), og der rodes op i bunden umiddelbart foran nettets åbning. Herved vil makroinvertebrater siddende i vandløbsbunden slippe og blive ført med vandet ind i nettet sammen med en smule sediment.

Surber-nettet gennemskyldes, og indholdet hældes i plastbøtter. Indenfor et døgn efter prøvetagningen udsorteres makroinvertebraterne, og de placeres i sprit til senere bestemmelse. Der indsamles 5

individer af hver art, og hvor antallet af individer indenfor samme art overstiger dette, noteres det samlede antal.



Figur 4.2 Indsamling af makroinvertebrater i Skamlebækken.

4.6 Diversitet

Til bestemmelse af diversiteten i makroinvertebratsamfundene, forstået som antallet af forskellige arter, og fordelingen af individer indenfor arterne, og til at undersøge en udvikling i disse anvendes Shannon-Wieners diversitetsindeks. Diversiteten er interessant, idet denne giver et indblik i, hvor varierede fysiske forhold der er at finde i vandløbet, og dermed en indikation for, hvor restaurerings effekt.

Shannon-Wiener indekset (H') udregnes med følgende formel:

$$H' = - \sum (p_i \cdot \ln p_i)$$

hvor $p_i = \left(\frac{n_i}{N}\right)$, andelen af den i 'te art

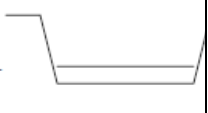
Med indekset bestemmes en kombination af evenness, det vil sige fordelingen af arter, og richness, artsantallet. I dette indeks antages det, at alle arter er repræsenteret i faunaprøven, og at samfundet, hvorfra faunaprøven er udtaget, er uendeligt stort, og at faunaprøven er udtaget tilfældigt. Indekset bygger på informationsteori, og lægger således vægt på, at et systems indhold af information afhænger af, hvor stor en datamængde der anvendes, her antallet af arter, og at informationsindholdet afhænger af sandsynligheden for at finde hver af disse data, her hvor ligelig artssammensætningen er (Jacobsen, 1998).

5 Resultatbehandling

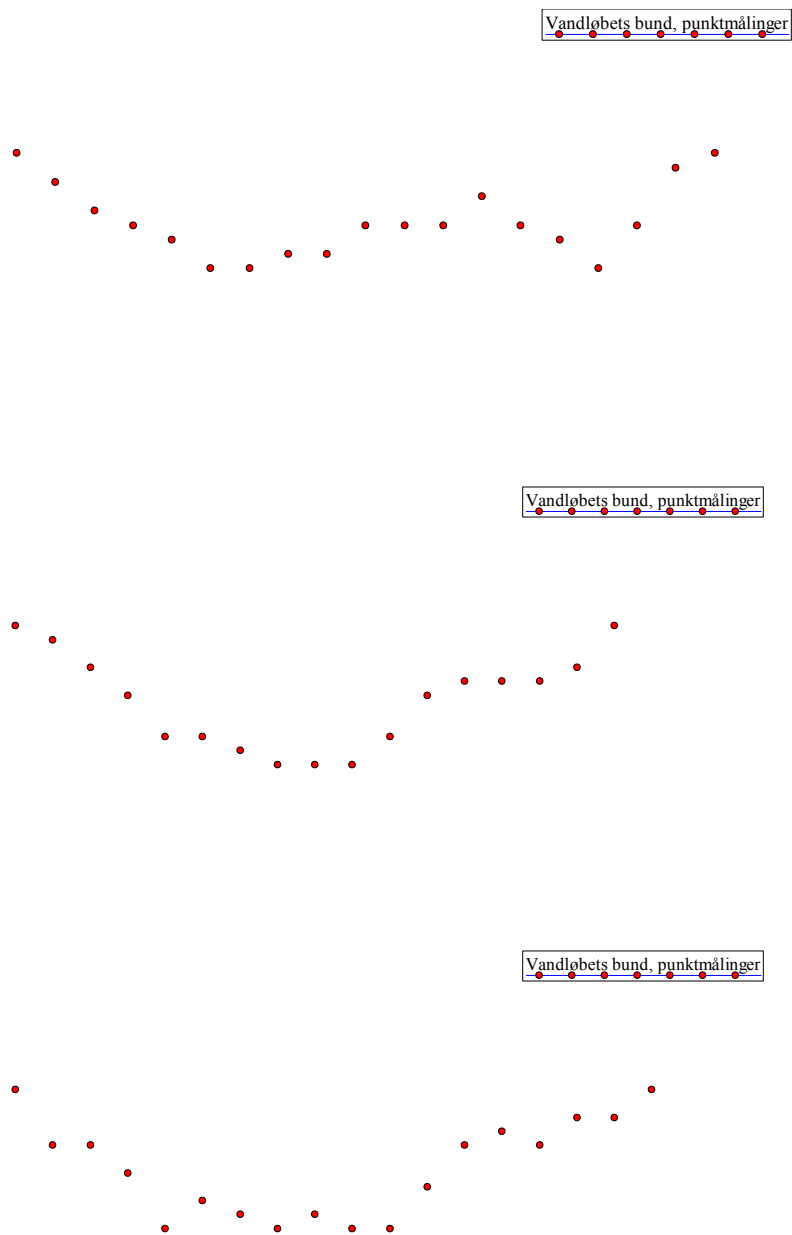
I dette kapitel vil resultaterne fra dette projekt blive præsenteret og opstillet sammen med resultater fra tidligere undersøgelser på samme vandløbsstrækninger. Vandløbets forløb vil blive præsenteret, og vandløbet tillægges en indekssværdi i henhold til det fysiske indeks, og tildeles en indekssværdi i forhold til faunadiversitet. Herefter gennemgås enkeltpunkter fra begge indeks, herunder vandløbets bundsediment, strømhastighed, bredde, dybde og beplantning, og hvor det er muligt ud fra tidligere undersøgelser, præsenteres udviklingen i disse over tid. I henhold til data fra august 2011 skal det her nævnes, at der for de fysiske parametre; bredde, dybde, strømhastighed og bundsedimenter, på strækning 1 er foretaget målinger i 3 tværsnit, mens der for strækning 2 og 3 er data fra 10 tværsnit. I henhold til biologiske undersøgelser, makroinvertebrater, er der på strækning 1 foretaget målinger i 3 tværsnit, mens der på strækning 2 og 3 er foretaget målinger i 6 tværsnit.

5.1 Vandløbets udformning og fysisk indeks-værdi

De undersøgte strækninger af Skamlebækken har alle en naturlig profil, som på de fleste tværsnit ujevne bundforhold bedst kan beskrives ud fra type 1 (figur 5.1 og figur 5.2), med enkelte tværsnit, hvor type 5 er bedst beskrivende. Det skal dog nævnes, at vandløbet ligger nedgravet med stejle brinker, som i type 6 (figur 5.3).

Vandløb: <u>Skamlebækken</u>										
Dato: 8/8-2011										
Afkryds den type, der bedst beskriver vandløbets profil:										
1) ☒		2) ☐		3) ☐						
4) ☐		5) ☐		6) ☐						
	Højre brink					Venstre brink				
Brinktransekt nr:	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Mose										
Græsset eng						X	X	X	X	X
Ugræsset eng med vegetation >50 cm	X	X	X							
Hede										
Krat										
Skov/Plantage										
Brakmark/Ruderat										
Rørsump										
Dyrket mark										

Figur 5.1 Generelle forhold på hele vandløbsstrækningen (Pedersen *et al.*, 2006 b).



Figur 5.2 Tværsnit på Skamlebækken. Øverst: transekt 1 på strækning 1. Midten: transekt 7 på strækning 2. Nederst: transekt 7 på strækning 3 (bilag 1).



Figur 5.3 Skamlebækkens udseende i august 2011, 2½ år efter restaureringen.

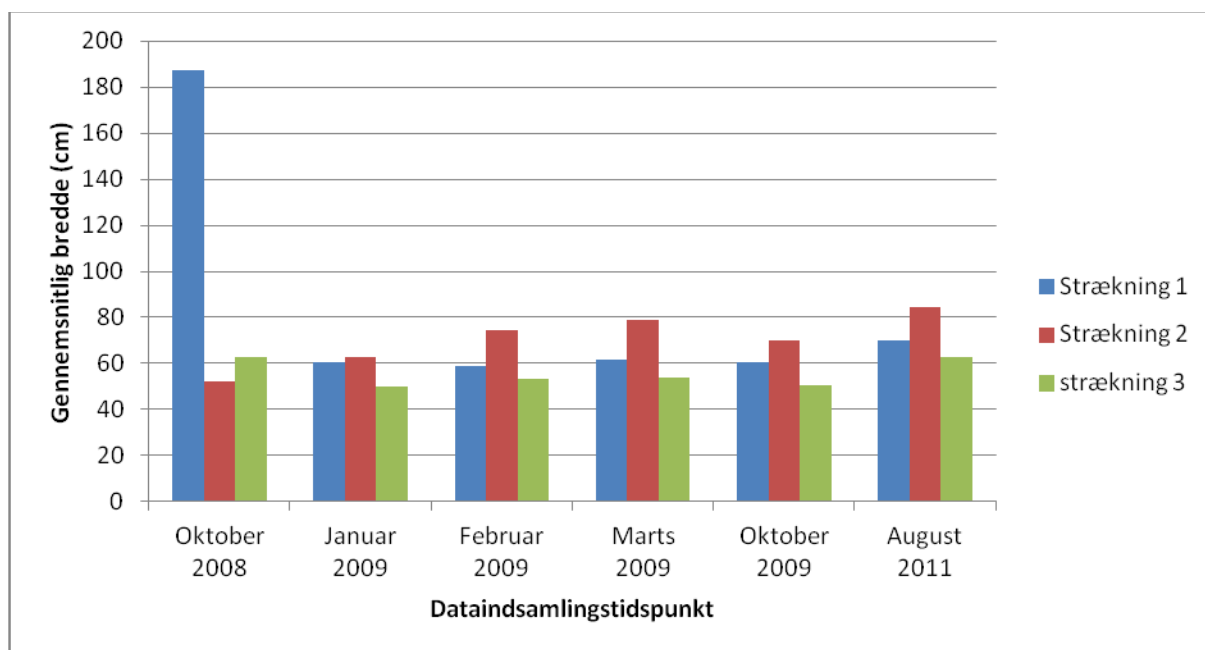
Strækingsparametre	Intensitet (i:0-3)	Faktor (F)	Værdi (= i x F)
Høller og stryg - % af optimalt antal (0:Ingen, 1:1-25%, 2:26-75%, 3:≥75%)	1	+2	2
Slyngningsgrad (0:Lige, 1:Svagt sinuøst, 2:Sinuøst, 3:Mæandrerende)	2	+1	2
Tværsnitsprofil (0:Kanaliseret, 1:Semi-naturligt (dybt), 2:Seminaturligt, 3:Naturligt)	2	+2	4
Breddevariation (0: CV=0-10%, 1: CV=11-25%, 2: CV=26-50%, 3: CV>50%)	1	+1	1
Underskårne brinker - % af strækning (0:Ingen, 1:1-25%, 2:26-50%, 3:≥50%)	1	+1	1
Bredde af upåvirket vandløbsnært areal (0:0-2m, 1:2-5m, 2:5-10m, 3:≥10m)			
Vandløbsparametre			
Nedhængende vegetation - % af brink (0:Ingen, 1:1-25%, 2:26-50%, 3:≥50%)	3	+1	3
Højenergi hastighed - % af vandløbet (0:Ingen, 1:1-10%, 2:11-25%, 3:≥25%)	0	+1	0
Rødder i vandet - % af strækning (0:Ingen, 1:1-10%, 2:11-25%, 3:≥25%)	0	+1	0
Emergent vegetation - % af tværsnit (0:0-10%, 1:11-25%, 2:26-40%, 3:41-60%)	0	+1	0
Undervandsvegetation (0:0-10%, 1:11-25%, 2:26-40%, 3:41-60%)	0	+1	0
Anden fysisk variation - % af strækning (0:Ingen, 1:1-10%, 2:11-20%, 3:≥21%)	0	+2	0
Okkerbelastning - % af strækning (0:Ingen, 1:Svagt, 3:Udbredt)	0	-2	0
Substratparametre			
Stendækning - % af strækning (0:Ingen, 1:1-10%, 2:11-25%, 3:≥26%)	2	+2	4
Grusdækning - % af strækning (0:Ingen, 1:1-10%, 2:11-25%, 3:≥26%)	2	+2	4
Sanddækning - % af strækning (0:≥75%, 1:51-75%, 2:26-50%, 3:0-25%)	3	+1	3
Dækning af mudder/slam - % af strækning (0:0-5%, 1:6-10%, 2:11-25%, 3:≥26%)	3	-2	-6
Supplerende parametre			
Dybe partier (d>40 cm) på strækningen (0:Ingen, 1:1-10%, 2:11-25%, 3:≥26%)	0		
Er der udviklet et sekundært profil i vandløbet? (ja/nej)	Nej		
Strækningen er ét langt stryg (groft substrat, stort fald, hurtig strøm)(ja/nej)	Nej		
Indeksværdi (sum af værdikolonne)			22

Figur 5.4 Dansk fysisk indeks, udarbejdet i april 2004 (Pedersen *et al.*, 2006 b).

Vandløbet opnår således en indeks-værdi på 22 (figur 5.4). Idet der ikke umiddelbart er et sammenligningsgrundlag, idet indekset bygger på visuelle observationer af hele strækningen, og dette er ikke indskrevet i data fra tidligere undersøgelser, giver denne værdi alene ikke megen information om tilstanden i vandløbet. Når enkeltværdierne i tabellen observeres, er der dog mere viden at hente. Det kan ses, at vandløbet overordnet har fine værdier i kategorien ”strækningsparametre” og ”substratparametre”, som henviser til den fysiske udformning af vandløbet. Det fysiske indeks giver også mulighed for at se, at det særligt er i kategorien ”vandløbsparametre”, at den restaurerede del af Skamlebækken ikke opnår høje værdier. Årsagerne til denne fordeling vil blive gennemgået i kapitel 6.

5.2 Vandløbets bredde

Vandløbets bredde ser for alle tre delstrækninger ud til at være øget i perioden fra januar 2009 til august 2011 (figur 5.5), med strækning 3 som den smalleste og strækning 2 som den bredeste over hele perioden. Den mest markante ændring er sket i restaureringen, hvor strækning 1 er blevet mindsket betydeligt i bredden.



Figur 5.5 Gennemsnitlige vandløbsbredder på de tre forsøgsstrækninger på forskellige måle tidspunkter.

Til undersøgelsen af hvorvidt der er sket en statistisk signifikant ændring af vandløbets bredde efter restaureringen, er der udført Mann-Whitney tests (Bendsen, 2009). Denne test er udført, da data ikke er normalfordelte, og der ønskes at testes for to uparrede stikprøver. Der arbejdes i alle prøver med:

- nul-hypotese: strækningerne har samme median, det vil sige samme bredde
- mod-hypotese: strækningerne har forskellig median, det vil sige forskellig bredde

Signifikansniveauet sættes til $p=0,05$, og nulhypotesen afkræftes således kun ved $p<0,05$.

Strækning 1

I januar 2009 findes en median-værdi på strækning 1 på 60 cm og i august 2011 findes den til 70 cm (figur 5.6). I Box-plottet ses overlap i de midterste fraktiler, hvilket tyder på, at værdierne ikke er signifikant forskellige. Ved en Mann-Whitney test fås en p-værdi på 0,371, og der er således ikke markant forskel på gennemsnitsbredden på de to tidspunkter.

Strækning 2

I januar 2009 findes en median-værdi på strækning 2 til 62,5 cm, mens den i august 2011 findes til 87,5 cm (figur 5.7). Forskellen ser her signifikant ud, og i box-plottet ses heller ikke overlap i midterfraktilerne. Ved en Mann-Whitney test fås en p-værdi på 0,005, det vil sige lavere end det fastsatte signifikansniveau, og nul-hypotesen afkræftes derfor. Strækningens gennemsnitlige bredde er ændret signifikant.

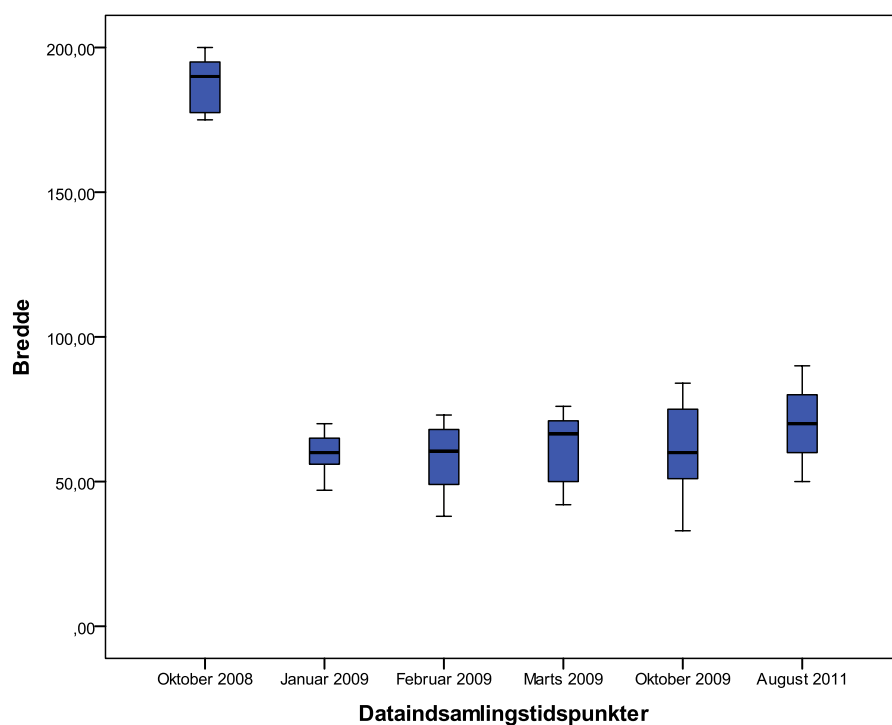
Opsplittes tidsrummet i to, kan det herefter fastsættes, om forandringen hovedsagligt er sket umiddelbart efter restaureringen, dvs. fra januar 2009 til oktober 2009, eller i et længere perspektiv, fra oktober 2009 til august 2011.

I sammenligningen af oktober 2009 og august 2011, fås en p-værdi på 0,055, og der er således ikke signifikant forskel i median bredden på de to tidspunkter, om end værdien er tæt på. I sammenligningen af januar 2009 og oktober 2009 fås en p-værdi på 0,513, som er markant højere end signifikansniveauet. På dette tidspunkt er der således ikke signifikant forskel.

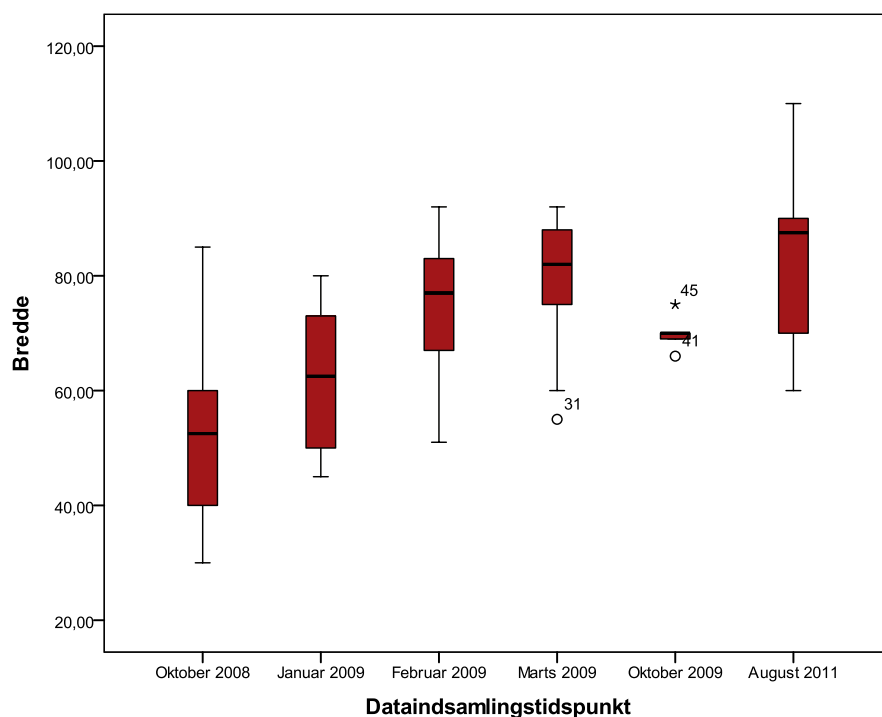
Det ser således ud til, at breddens forøgelse på denne delstrækning er sket over den samlede periode, men overvejende i perioden oktober 2009 til august 2011.

Strækning 3

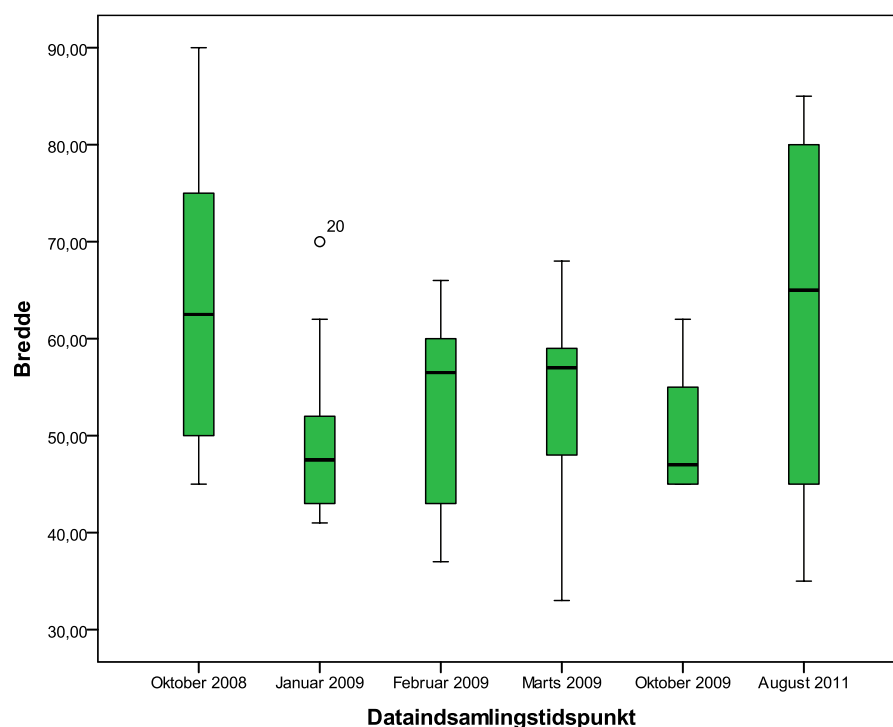
I januar 2009 findes en median-værdi på strækning 3 til 47,5 cm, mens den i august 2011 findes til 65 cm (figur 5.8). Umiddelbart ser her ud til at være en signifikant forskel på de to prøvers median, dog med visse overlap i midterfraktilerne, men afprøves dette ved en Mann-Whitney test, fås en p-værdi på 0,165. Denne er således betydeligt over det fastsatte signifikansniveau, og nul-hypotesten kan derfor ikke afkræftes. Strækningens median bredde er ikke ændret signifikant.



Figur 5.6 Strækning 1. Box-plot sammenligning af målinger fra oktober 2008 til august 2011 med medianværdier, midterkvartiler og maksimum og minimumværdier. Bredden er angivet i cm.



Figur 5.7 Strækning 2. Box-plot sammenligning af målinger fra oktober 2008 til august 2011 med medianværdier, midterkvartiler og maksimum og minimumværdier. Bredden er angivet i cm.



Figur 5.8 Strækning 3. Box-plot sammenligning af målinger fra oktober 2008 til august 2011 med medianværdier, midterkvartiler og maksimum og minimumværdier. Bredden er angivet i cm.

Ud fra box-plottene ser det desuden ud som om, at bredden er blevet mere varieret på strækning 3, mens variationen i bredden ser ud til ikke at have ændret sig på strækning 1. Dette ses, da spredningen på 25- til 75.fraktilen er blevet større på strækning 3, men ikke ser ud til at være ændret på strækning 1.

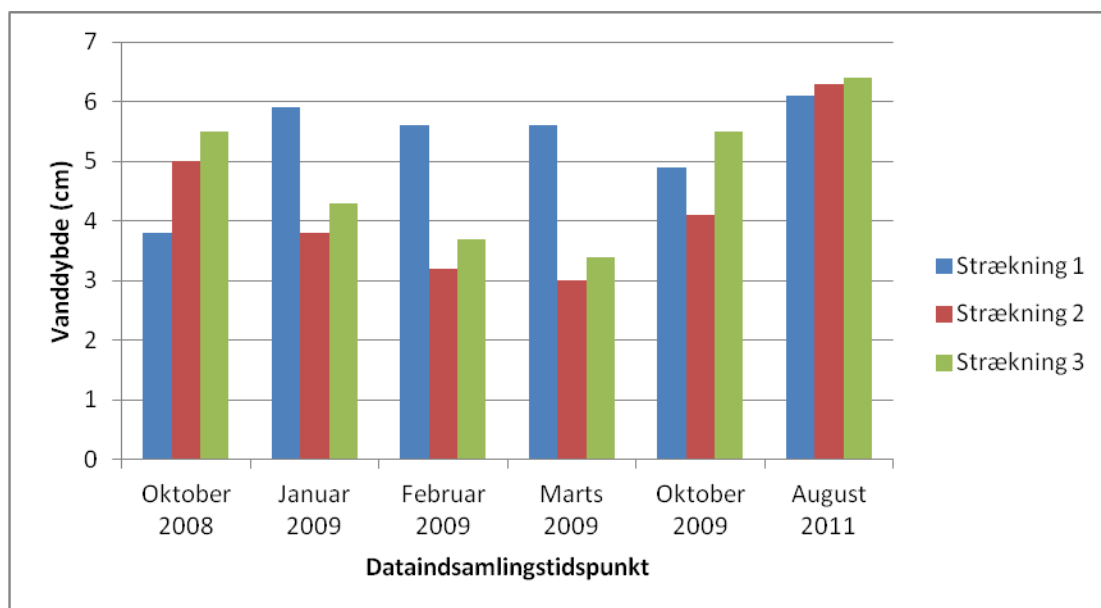
5.3 Vandløbets dybde

I dataene for gennemsnitlige målte dybder, ses en vis stabilitet i månederne umiddelbart efter restaureringen (figur 5.9). Strækning 2 og 3 ser ud til at have den mindste dybde, mens strækning 1 ser ud til at have den største. Frem mod august 2011, ser det ud til at alle strækninger øges i dybden, med de største stigninger på strækning 2 og 3, og opnår næsten ens gennemsnitlige dybder.

Til undersøgelsen af hvorvidt der er sket en ændring af vandløbets dybde, er der udført Mann-Whitney tests. Denne test er udført, da data ikke er normalfordelte, og der ønskes at testes for to uparrede stikprøver. Der arbejdes i alle prøver med:

- nul-hypotese: strækningerne har samme median, det vil sige samme dybde
- mod-hypotese: strækningerne har forskellig median, det vil sige forskellig dybde

Signifikansniveauet sættes til $p=0,05$, og nul-hypotesen afkræftes således kun ved $p<0,05$.



Figur 5.9 Gennemsnitlige vanddybder på de tre forsøgsstrækninger på forskellige måletidspunkter.

Strækning 1

I januar 2009 findes en median-værdi for denne delstrækning på 6 cm, mens der i august 2011 er en median-værdi på 5 cm (figur 5.10). Her findes en p-værdi på 0,849, og der er således ikke i dette tilfælde grundlag for at forkaste 0-hypotesen. Vandløbets median-dybde er ikke ændret.

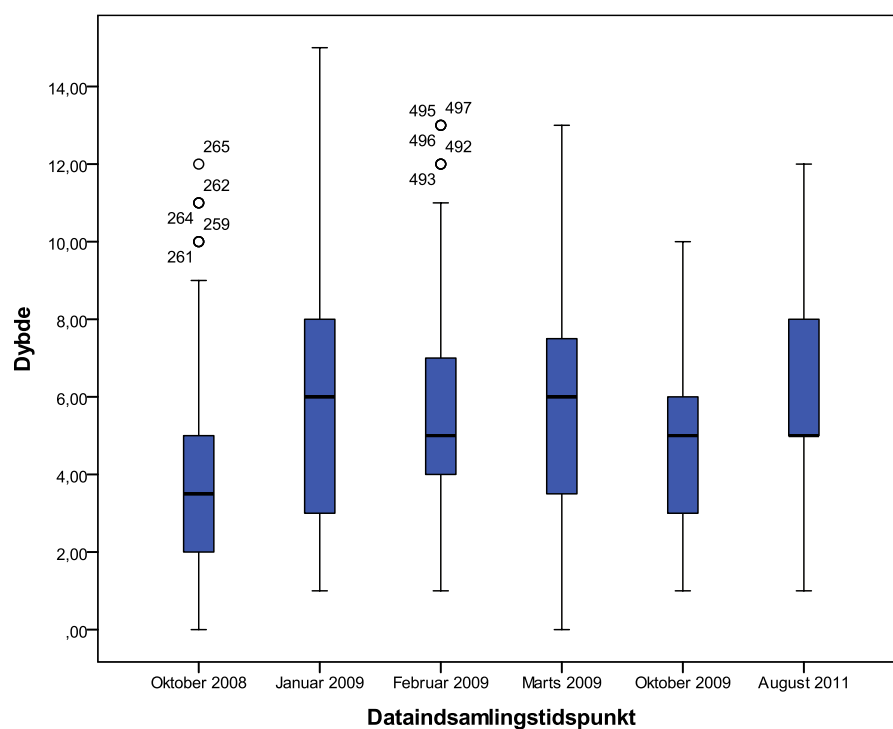
Strækning 2

I januar 2009 findes en median-værdi for denne delstrækning på 4 cm, mens den for august 2011 er 5 cm (figur 5.11). P-værdien er her fundet til $1 \cdot 10^{-8}$, og er dermed mindre end signifikansniveauet. Median-dybden er således blevet større.

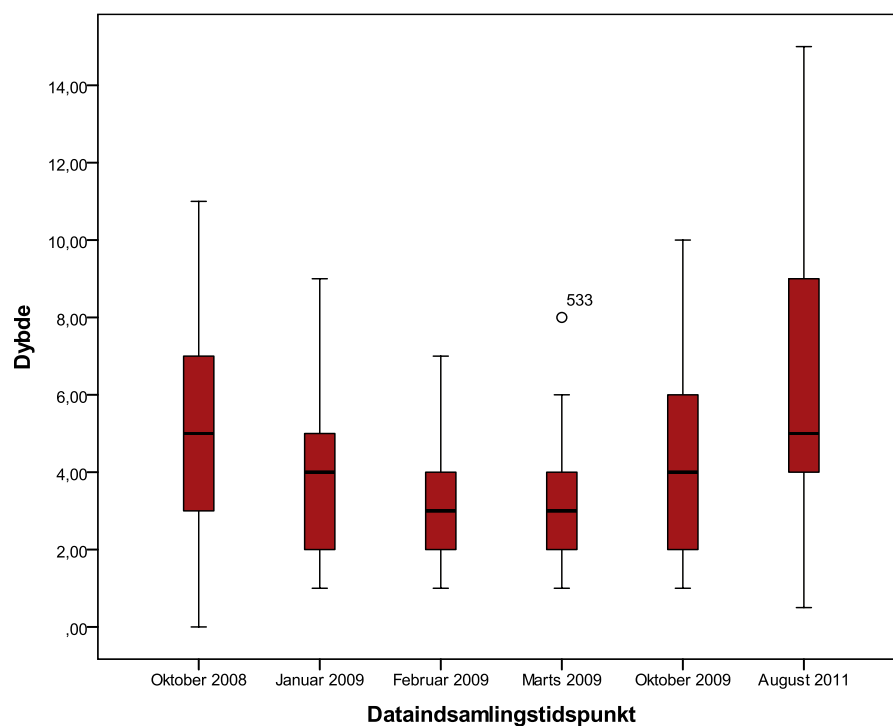
Strækning 3

I januar 2009 findes en median-værdi for denne delstrækning på 4 cm, mens den i dataene for august 2011, er fundet til 7 cm (figur 5.12). I en Mann-Whitney test findes, at p-værdien er $4 \cdot 10^{-6}$, og således betydeligt mindre end signifikansniveauet på 0,05. Herved forkastes 0-hypotesen, og vandløbsstrækningens median-dybde er signifikant forøget.

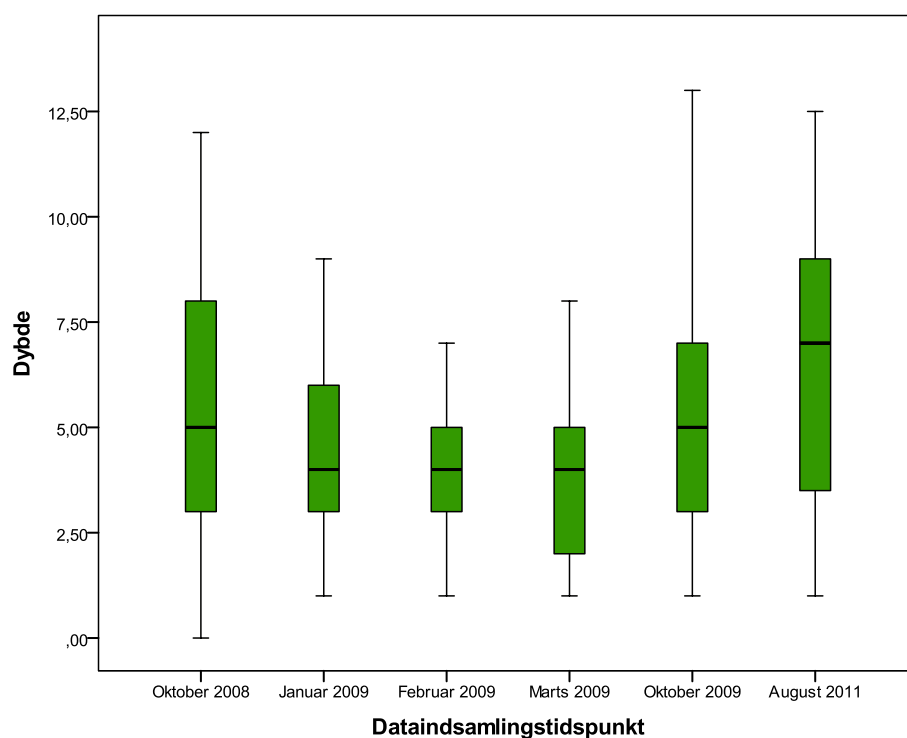
Ud fra box-plottene bliver det desuden tydeligt, at variationen i dybden har ændret sig over tid. Særligt på strækning 2 og 3, ses på 25 og 75-kvartilerne at vandløbets dybde er blevet mere varieret siden efter restaureringen er gennemført (figur 5.11 og figur 5.12).



Figur 5.10 Strækning 1. Box-plot sammenligning af målinger fra oktober 2008 til august 2011 med medianværdier, midterkvartiler og maksimum og minimumværdier. Dybden er angivet i cm.



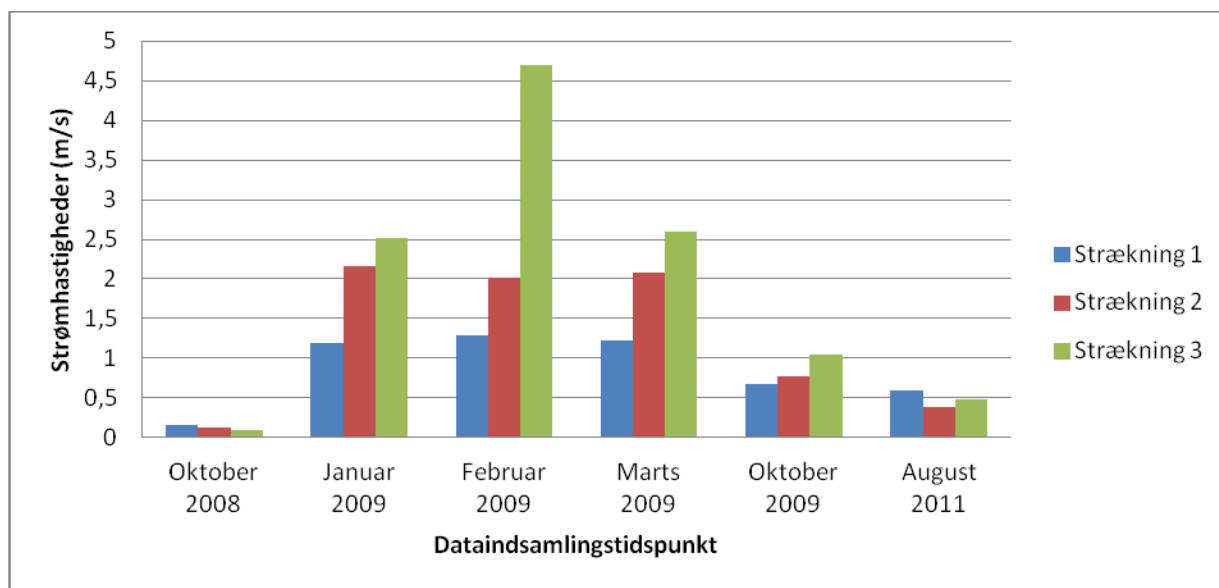
Figur 5.11 Strækning 2. Box-plot sammenligning af målinger fra oktober 2008 til august 2011 med medianværdier, midterkvartiler og maksimum og minimumværdier. Dybden er angivet i cm.



Figur 5.12 Strækning 3. Box-plot sammenligning af målinger fra oktober 2008 til august 2011 med medianværdier, midterkvartiler og maksimum og minimumværdier. Dybden er angivet i cm.

5.4 Forskelle i strømhastighed

Før restaureringen af vandløbet målttes lave vandhastigheder på alle strækninger (figur 5.13). Efter restaureringen målttes en højere gennemsnitlig strømhastighed, højest umiddelbart efter restaureringen, og lavere i oktober 2009 og august 2011. Faldet her skyldes dog højst sandsynligt årstidsvariationer.



Figur 5.13 Gennemsnitlige strømhastigheder på de tre forsøgsstrækninger på forskellige måletidspunkter.

Til undersøgelsen af hvorvidt der er sket en ændring af vandløbets strømhastighed, er der udført Mann-Whitney tests. Denne test er udført, da data ikke er normalfordelte, og der ønskes at testes for to uparrede stikprøver. Der arbejdes i alle prøver med:

- nul-hypotese: strækningerne har samme median, det vil sige samme strømhastighed
- mod-hypotese: strækningerne har forskellig median, det vil sige forskellig strømhastighed

Signifikansniveauet sættes til $p=0,05$, og nul-hypotesen afkræftes således kun ved $p<0,05$.

Strækning 1

I dataene for januar 2009, umiddelbart efter restaureringen, findes en medianværdi på 0,925 m/s, mens medianværdien i dataene fra august 2011, viser en medianværdi på 0,43 m/s (figur 5.14). Disse medianværdier er tættere end i de øvrige undersøgelser af strømhastigheden, og der ses også en sammenfald af værdier i midterkvartilerne. Mann-Whitney testen viser, at der ikke er signifikant forskel på median-strømhastigheden på de to tidspunkter, idet p-værdien er på 0,064.

For at være sikker på, om der virkelig er sket et gennemgående signifikant fald i strømhastigheden i perioden efter restaureringen, bør der dog foretages flere målinger på samme tidspunkter af året, da strømhastigheden delvist er bestemt af vandføringen, som her er bestemt af vandstanden i søen, og nedbøren, og således er denne årstidsbestemt. Det ser ud til at der også har været en lav gennemsnitlig strømhastighed i oktober 2009, mens der i årets første måneder var en markant højere gennemsnitlig strømhastighed.

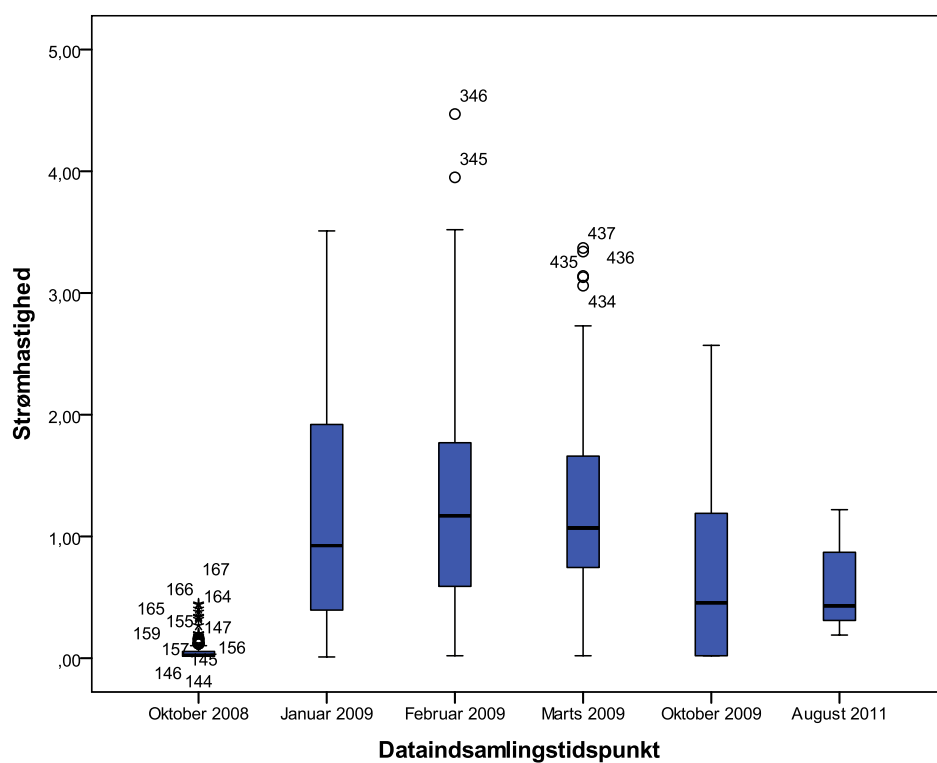
Strækning 2

Her findes i dataene for januar 2009 en median-værdi på 2,285 m/s, og for dataene for august 2011, findes en median-værdi på 0,36 m/s (figur 5.15). Medianværdierne ser ud til at være relativt ens i de første måneder af 2009, og de ser ud til at være markant lavere før restaureringen, og i dataene for oktober 2009 og august 2011. Mann-Whitney testen viser en p-værdi på $6 \cdot 10^{-15}$, og således er der signifikant forskel på medianværdierne i strømhastigheden i januar 2009 og i august 2011. Strømhastigheden er her, som på strækning 3, lavere end i januar 2009.

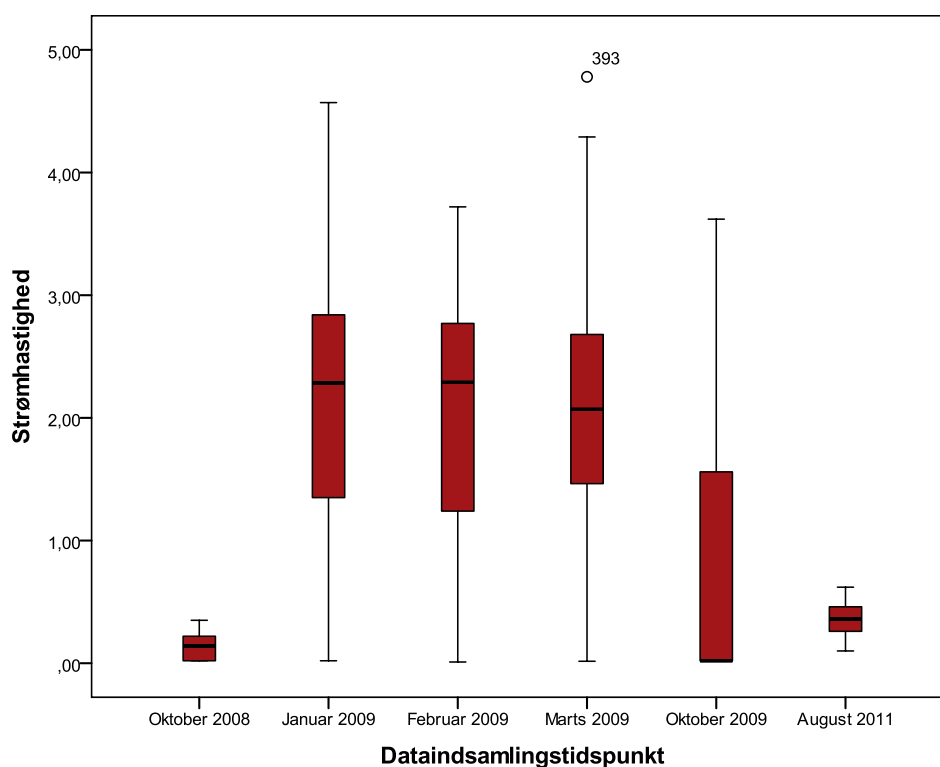
Strækning 3

I januar 2009 findes en median-værdi for strømhastigheden på 2,7 m/s, mens den for målingerne fra 2011 lå på 0,53 m/s (figur 5.16). Umiddelbart ser det ud til at der er signifikant forskel, idet der ikke er sammenfald mellem de to prøvers midterkvartiler. I afprøvningen af, hvorvidt disse to medianværdier er signifikant forskellige, fås en p-værdi på $9 \cdot 10^{-17}$, og nul-hypotesen forkastes derfor. Der er en signifikant lavere median-strømhastighed i august 2011, end i januar 2009.

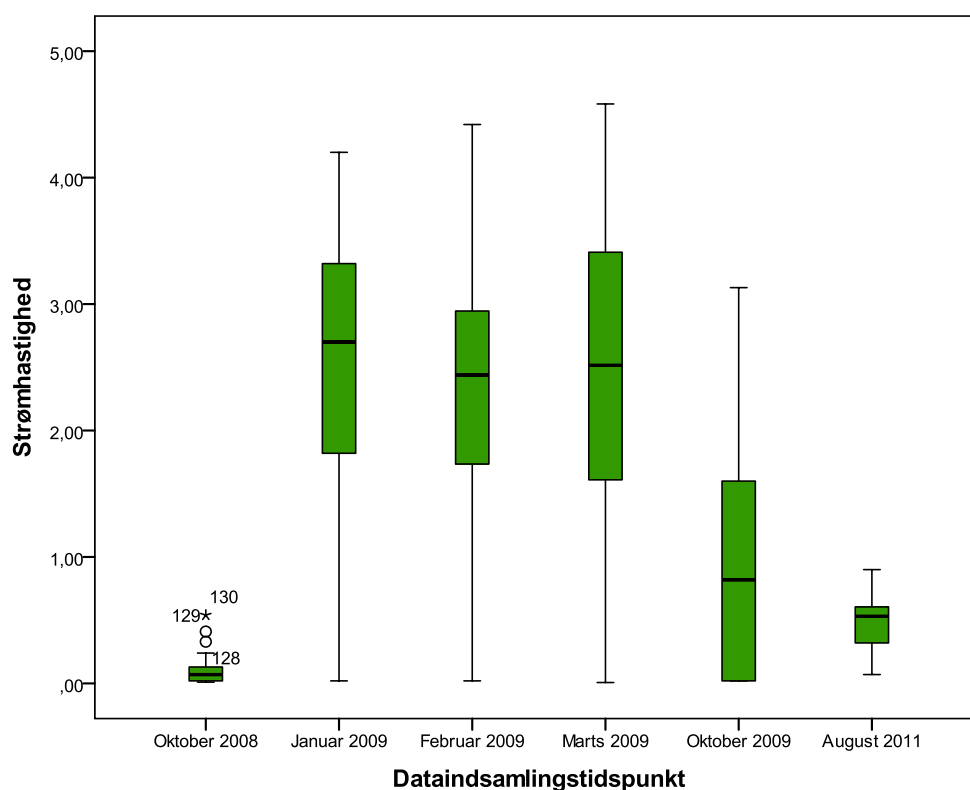
Variationen i strømhastigheden ser desuden ud til at være blevet mindre på alle tre strækninger i tiden efter restaureringen. Særligt tydeligt er dette på strækning 2 og 3 (figur 5.15 og figur 5.16). Variationen er dog større end før restaureringen.



Figur 5.14 Strækning 1. Box-plot sammenligning af målinger fra oktober2008 til august 2011 med medianværdier, midterkvartiler og maksimum og minimumværdier. Strømhastigheden er angivet i m/s.



Figur 5.15 Strækning 2. Box-plot sammenligning af målinger fra oktober2008 til august 2011 med medianværdier, midterkvartiler og maksimum og minimumværdier. Strømhastigheden er angivet i m/s.

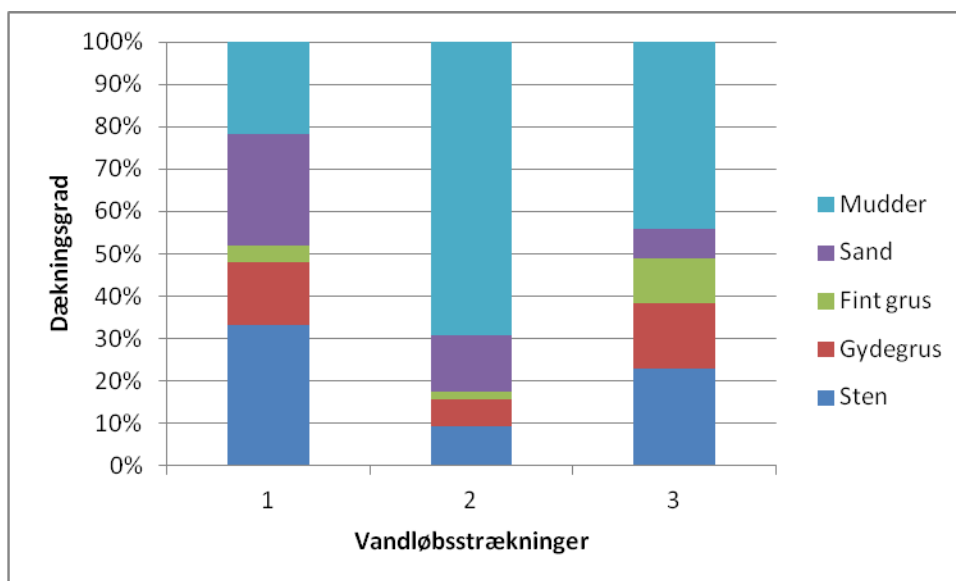


Figur 5.16 Strækning 3. Box-plot sammenligning af målinger fra oktober 2008 til august 2011 med medianværdier, midterkvartiler og maksimum og minimumværdier. Strømhastigheden er angivet i m/s.

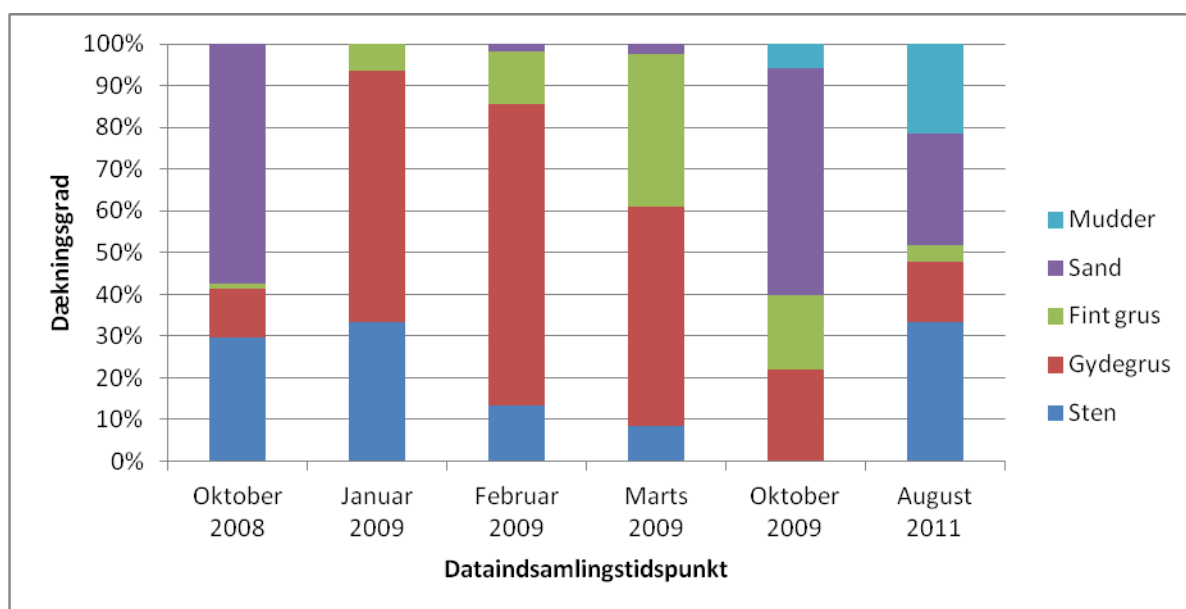
5.5 Bundsedimenter

På undersøgelsesstrækningerne ses i dette projekts målinger fra august 2011 en variation indenfor bundsedimenterne (figur 5.17). På strækning 1, som er undersøgt i tre transekter, ses en rimelig jævn fordeling af sten, 33 %, gydegrus, 15 %, sand 27 % og mudder 21 % og en mindre mængde fint grus, 4 %. For strækning 2, som er undersøgt i ti transekter, findes alle sedimenttyperne også, men her er mudder dominerende, med næsten 70 % af sedimentet. Resten fordeles her næsten ligeligt mellem sand, 15 %, og de grovere sedimenter, sten, gydegrus og fint grus sammenlagt, 15 %. På den tredje strækning, som er at finde længst nedstrøms, og som er undersøgt i ti transekter, findes alle sedimenter ligeledes, og også her udgør mudder den største procentdel af de fem typer, næsten 45 %. Sten er fundet som ca. 20 % af bunddækket, mens gydegrus udgør 15 %, fint grus 10 % og sand 5 %.

Det skal desuden bemærkes, at det på alle tværsnit særligt er langs vandløbets bred, at det fintkornede materiale udgør en høj procentdel (bilag 2).

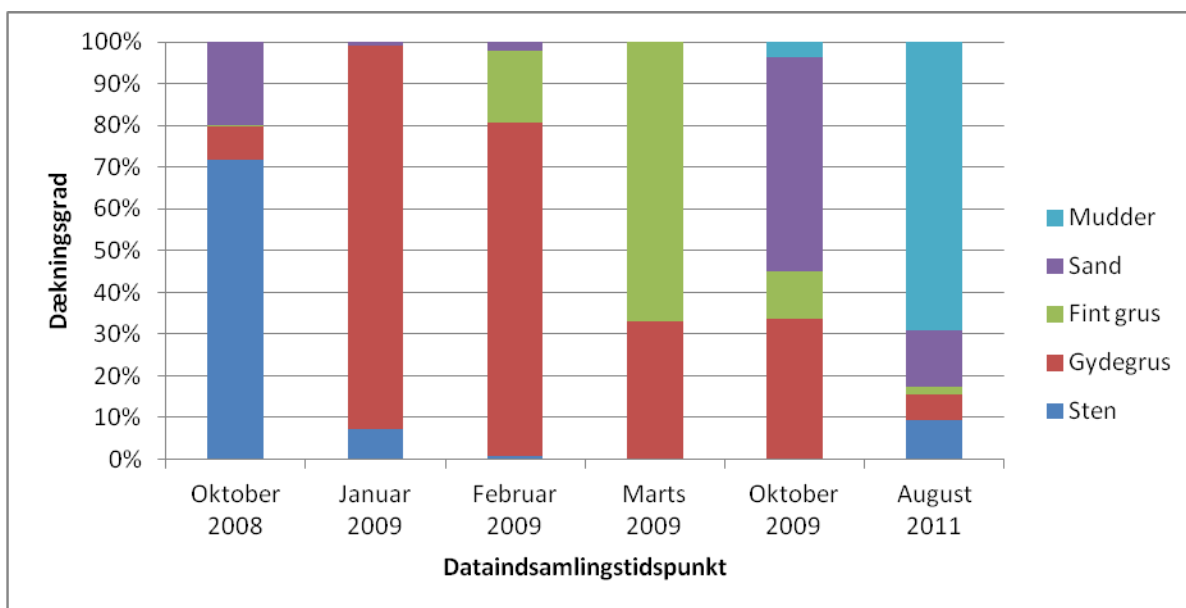


Figur 5.17 Bundsedimenter på de tre delstrækninger i august 2011.

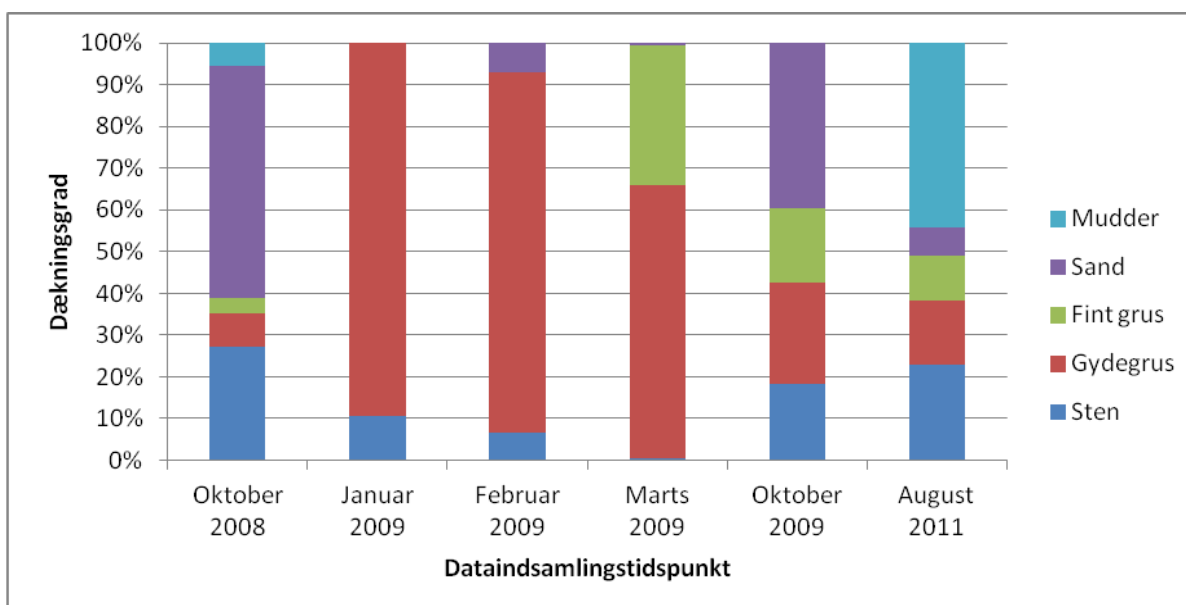


Figur 5.18 Strækning 1. Bundsedimentets sammensætning på forskellige dataindsamlings tidspunkter.

Før restaureringen blev bundsedimentet fundet til at bestå hovedsagligt af sand på strækning 1. Næsten 60 % fandtes således indenfor denne kornstørrelse. Dog fandtes i vandløbet også mere grovkornet materiale, og således udgjordes de resterende 40 % næsten udelukkende af gydegrus og sten (figur 5.18). På strækning 3 observeredes en lignende kornstørrelsesfordeling, dog med en smule mudder i stedet for sand (figur 5.20). På strækning 2 var der før restaureringen en markant anden bunddækning. Her fandtes næsten 80 % indenfor de grovkornede sedimenter, sten, gydegrus og fint grus, mens kun 20 % på dette tidspunkt bestod af sand (figur 5.19).



Figur 5.19 Strækning 2. Bundsedimentets sammensætning på forskellige dataindsamlingstidspunkter.



Figur 5.20 Strækning 3. Bundsedimentets sammensætning på forskellige dataindsamlingstidspunkter.

Umiddelbart efter restaureringen af Skamlebækken, var størstedelen af sedimentet udgjort af de grovkornede sedimenter, sten, gydegrus og fint grus på alle tre undersøgelsesstrækninger, dog med en lidt større andel sten i forhold til gydegrus på strækning 1. Dette gør sig gældende i målingerne for både januar, februar og marts 2009, om end andelen af sten og gydegrus gennem perioden synes at falde, og andelen af fint grus at stige. Denne stigning i fint grus ses på alle delstrækninger, om end i størst grad på strækning 2. Samtidig begynder der at indfinde sig en mindre procentdel sand på strækningerne.

I oktober 2009 var bundforholdene på strækning 1 i en sammensætning, der mindede om sammensætningen før restaureringen. Ca. 60 % udgøres af finkornet materiale, og 40 % af det mere grovkornede, fint grus, gydegrus og sten. På strækning 2 er der sket en forøgelse i mængden af sand, og et betydeligt fald i mængden af fint grus, mens mængden af gydegrus er næsten konstant. På

strækning 3 er der sket en udvikling, hvor der både er mere fintkornet materiale i form af sand, mens også mere grovkornet, i form af sten.

I august 2011 er der på strækning 1 fundet en dækningsgrad af sten, som ligner dækningsgraden umiddelbart efter restaureringen. Mudder og sand udgør dog tilsammen næsten 50 % af bundsedimentet, hvilket er mindre end i oktober 2009, men disse sedimenttyper var ikke at finde på strækningen umiddelbart efter restaureringen. På strækning 2 findes en betydelig forøgelse i dækningsgraden af fintkornet sediment, således at sand og mudder udgør mere end 80 % af bunddækket. På strækning 3 findes er der siden oktober 2009 sket en ændring fra sand til mudder, men herudover er der lignende forhold på de to tidspunkter.

Der kan være en sæsonvariation i bundsedimentet i forhold til vandløbets skiftende vandføring og strømhastigheder, således at der er mere mudder i bundsedimentet i sommerhalvåret end i vinterhalvåret. Dette vil blive uddybet i kapitel 6.

5.6 Vandløbets planter

Siden vandløbets restaurering, er der indvandret planter særligt til vandløbets brinker fra de omkringliggende arealer. Brinkerne blev ikke tilsæt i forbindelse med restaureringen (figur 5.21) grundet den gældende lovgivning. Dog blev enkelte træer udplantet.



Figur 5.21 Skamlebækkens forløb efter restaureringen. A: Umiddelbart efter restaureringen (Bruun, 2009). B: 2½ år efter restaureringen.

Resultaterne refererer her til de planter, som er observeret i vandløbet enten som undervandsplanter eller emergente planter, eller som udhængende vegetation over vandløbet. Der er i denne undersøgelse

ikke skelnet mellem de tre undersøgelsesstrækninger, som ellers benyttes i de øvrige dataindsamlinger. Planterne er identificeret og videre beskrevet ved brug af Hansen (1973), Danmarks Miljøundersøgelser (1990) og Bayer CropScience (2005).

Krybende Hvene, *Agrostis stolonifera* L., er fundet ved alle undersøgelsestværsnit. Dette er en græsart, som vokser på arealer med forskellige grader af fugtig jordbund, og arten kan tåle at blive dækket af vand i lange perioder. Den laver overjordiske rodskud. Plantearten er almindelig i hele landet, men er mindre almindelig voksende som vandplante. Planten udgjorde størsteparten af den udhængende vegetation langs vandløbet, og her dannede arten en tæt tæppelignende vækst. Planten fandtes også voksende i vandløbet ved enkelte transekter, om end den her voksede mere spredt, og der dannedes ikke samme tæppestruktur.

Liden andemad, *Lemna minor* L., er fundet enkelte steder i vandløbet. Denne plante har voksesteder i langt de fleste ferske vande, med de bedste vækstbetingelser i næringsrige, stillestående områder. Planten er fundet langs vandløbskanten, hvor vandet bremses af anden vegetation. Arten er fritflydende, og forbindes derfor netop oftest med det mere stillestående vand, og planten kan derfor have sin vækst på visse strækninger af dette vandløb, men kan også være ført med strømmen fra mølledammen opstrøms, eller et mindre vandhul ved styrtet fra mølledammen.

Fløjlsgræs, *Holcus lanátus* L., er fundet voksende på bredden og delvist i vandløbet i tuer. Plantens vokser normalt på marker og enge, og er meget almindelig i hele Danmark.

Dyndpadderok, *Equisetum fluriatile* L., er fundet voksende emergent i vandløbet ved enkelte transekter. Planten synes ikke at være dominerende, og fandtes i Skamlebækken som enkeltstående eller få planter samlet. Planten danner normalt kun tættere bevoksninger, hvor vandet er mere stillestående, f.eks. i rørsumpe eller søer.

Lodden dueurt, *Epilóbium hirsútum* L., er observeret flere steder voksende emergent i vandløbet i klynger i hele vandløbets bredde. Arten er almindelig i det meste af Danmark, og findes almindeligvis ved søbredder, i sumpe og ved vandløb.

5.6.1 Tidligere undersøgelser

Før restaureringen fandtes mærke, særligt på delstrækning 1. I januar 2009 er der ikke observeret plantevækst i vandløbet. I februar er der observeret trådalger på nogle tværsnit, og i marts 2009 er der observeret trådalger på alle tværsnit på alle delstrækninger. I oktober 2009 er der observeret både trådalger og mærke, samt en enkelt observation af græsser i vandet (bilag 3).

5.7 Vandløbets makroinvertebrater

I dette projekts undersøgelser fra august 2011 er der i vandløbet observeret et stort antal makroinvertebrater, som dog alle er at finde inden for forholdsvis få taxa (tabel 5.1).

Ferskvandstangloppen, *Gammarus pulex*, er observeret på alle tværsnit, om end i varierende antal, mellem 1 og 50.

Kvægmyggelarven, Simuliidae familie, er også fundet på alle tværsnit, i et antal varierende mellem 7 og mere end 175.

Dansemyggelarven, af underfamilien Orthocladiinae, er fundet på i alt 7 tværsnit, fordelt på strækning 2 og 3, de to strækninger længst nedstrøms.

Døgnfluen, Baetis sp., er fundet i nymfestadie på 8 tværsnit fordelt på alle strækninger. Denne døgnflueart har ubevægelige gæller, som er reducerede i størrelsen, og den er således tilpasset livet i strømmende vand, og findes hvor der er gode iltforhold (Sand-Jensen & Lindegaard, 1996).

Herudover er enkelte eksemplarer af *Hydropsyche augustipennis* og *Lymnea pereger* fundet på strækning 1.

Tabel 5.1. Arter fundet gennem faunaprøver i august 2011.

	Strækning 1 *	Strækning 2	Strækning 3
<i>Gammarus pulex</i> (art)	36	83	68
Simuliidae indet (fam.)	60	235	380
Orthocladiinae (u.fam.)		7	6
<i>Baetis</i> sp. (slægt)	1	8	28
<i>Elmis aenea</i> (art)			1
<i>Hydropsyche augustipennis</i> (art)	1		
<i>Lymnea pereger</i> (art)	1		
I alt, antal individer, N	99	333	510

*Denne stræknings data er fra tre faunaprøver, mens de andre er fra seks faunaprøver

5.8 Shannon-Wieners diversitet

Tabel 5.2. Shannon-Wiener diversitet for de tre delstrækninger fra oktober 2008 til august 2011

Dataindsamlings tidspunkt	Strækning 1	Strækning 2	Strækning 3
Oktober 2008	1,18	1,30	1,11
Januar 2009	1,04		1,28
Maj 2009	0,76	0,99	1,21
Juni 2009	1,30	1,28	0,93
Maj 2010	1,39	1,53	1,63
August 2011	0,81	0,76	0,71

På alle undersøgelsestidspunkter findes lave Shannon-Wiener værdier, dvs. værdier omkring 1. Værdierne er fundet til at være højest i juni 2009 og maj 2010, dog ikke væsentligt højere end i oktober 2008.

5.9 Oversvømmelsesproblemer på Skamlebækvej 8

Som udgangspunkt for restaureringsprojektet af en delstrækning af Skamlebækken var oversvømmelsesproblemer på Skamlebækvej 8, hvor den rørlagte strækning begyndte. Efter restaureringen ses disse problemer ikke, og målsætningen fra Odsherred Kommune er dermed nået.

6 Diskussion

I dette kapitel vil resultaterne fra kapitel 5 blive gennemgået og sammenholdt med projektets hypoteser, den givne teori og de tidligere undersøgelser der findes på området. Forhold, som kan have haft indflydelse på resultaterne, vil også blive belyst. Udviklingen og sammenhængen i dataene vil blive undersøgt for at give et samlet billede af vandløbets udvikling siden restaureringen. Udviklingen vil blive gennemgået først, og for hver delparameter vil der blive afsluttet med en præsentation af, hvordan tilstanden er i vandløbet i dag.

6.1 Det fysiske indeks

I resultaterne fra det fysiske indeks kunne det observeres, at det særligt var indenfor strækningsparametrene og substratparametrene at vandløbet opnåede gode indekstal. Dette er fysiske forhold, som er skabt af restaureringen, og eventuelt ændret i årene efter denne. I disse parametre opnår vandløbet dog ikke gode indekssværdier i ”antal høller og stryg”, ”bredde af upåvirket vandløbsnært areal” og ”dækning af mudder/slam”. Disse forhold kan til dels begrundes i restaureringsarbejdet.

De undersøgte delstrækninger ligger alle på den tidligere åbne del af vandløbet, og her er grundet et naturligt højt fald, valgt at udlægge et langt stryg, og enkelte slyngninger. Således findes her, når det optimale antal høller og stryg udregnes ud fra vandløbets bredde, ikke mange af disse. Bredden af upåvirket vandløbsnært areal er forskellig på vandløbets to brinker. På den ene side er der således et større område med ugræsset eng, mens der på den anden side af vandløbet er varierende bredde af det upåvirkede areal, således at der nogle steder er græsset eng helt til vandløbskanten. Dette ligger i betingelserne fra jordejerne for udarbejdelsen af restaureringen.

6.2 Vandløbets bredde

I undersøgelserne af udviklingen i vandløbets bredde, bliver det i kapitel 5.2 tydeliggjort, at til trods for at der umiddelbart fra de gennemsnitlige vandløbsbredder ser ud til at være en langsom øgning af vandløbets bredde på alle tre delstrækninger, kun kan registreres en signifikant ændring på delstrækning 2. Her er vandløbets bredde øget, og dette kan hænge sammen med vandløbets slyngning umiddelbart nedstrøms denne strækning. Her eroderer vandet i særlig grad i brinken, og her er således basis for underskårne og nedfaldne brinker med et bredere vandløb til følge. Nedfaldne brinker er, som nævnt ovenfor, netop observeret på denne delstrækning.

I projektets hypoteser forventedes en øget vandløbsbredde som resultat af øget indvandring af planter til vandløbet. Da der ikke er indvandret betydelig vegetation til selve vandløbet, men hovedsagligt til vandløbets brinker, kan denne hypotese ikke bekræftes. Brinkvegetationen hænger ned i vandløbet langs hele strækningen, og ikke i særlig grad på strækning 2. Det er således ikke vegetationen, som kan forklare den øgede bredde på denne delstrækning.

Udviklingen i breddens variation kan ud fra de her anvendte data ikke følges statistisk, da data ikke er normalfordelte. Ud fra figur 5.6, figur 5.7 og figur 5.8 kan det dog vurderes, at bredden er blevet mere varieret på strækning 3, men ikke på strækning 1 og 2. Strækning 1 er udlagt som et stryg, og således forventedes det i projektets hypoteser ikke at denne strækning bliver mere varieret i bredden, mens strækning 3 netop ligger, hvor vandløbets første slyngninger er at finde, og således stemmer denne udvikling overens med projektets hypoteser.

6.3 Vandløbets dybde

Vandløbets dybde er på både strækning 2 og 3 blevet signifikant øget i perioden efter restaureringen, mens dette ikke er tilfældet for strækning 1. Den øgede dybde på strækning 2 og 3 hænger, som beskrevet i afsnittet ovenfor, ikke sammen med indvandringen af vandløbsplanter, da denne var ens på alle tre delstrækninger, og hovedsagligt fandtes indenfor brinkvegetation.

På strækning 2 kunne det forventes, at dybden var blevet formindsket grundet nedsynkningen af brinkmateriale og heraf følgende aflejring af materiale. I stedet ser der ud til at være dannet en dybere og bredere formation på denne strækning. På strækning 3 kan den øgede dybde muligvis hænge sammen med en videre udvikling i de naturlige slyngninger, der findes omkring denne delstrækning. Stryget ved strækning 1, kan være medvirkende til at dybden ikke er blevet større her.

Variationen i dybden ville i henhold til projektets hypoteser forventes at stige på strækninger med mæandreringer, men ikke på strækninger med stryg. Da disse data heller ikke er normalfordelte, har det ikke været muligt at undersøge, hvorvidt der statistisk er en signifikant forandring her. Ud fra figur 5.10, figur 5.11 og figur 5.12, ser det dog ud til, at netop på strækning 2 og 3, hvor vandløbets slyngning begynder, er der fremkommet en større variation i dybden. På strækning 1 findes ikke i samme grad en større variation i dybden, og dette kan ses i sammenhæng med, at denne strækning udlagdes som stryg, og ud fra bundforhold og variation i bredde og dybde ser strækning 1 ud til at have bevaret denne funktion.

6.4 Vandløbets strømhastighed

Medianstrømhastigheden i vandløbet er for strækning 2 og 3 faldet signifikant fra januar 2009 til august 2011, mens dette ikke er tilfældet på strækning 1. Faldet i strømhastighed hænger dog nok i høj grad sammen med de årstidsvariationer, der kan være i et vandløbs vandføring, og således er der også målt lavere strømhastigheder i oktober 2009, end i januar 2009. I Skamlebækken er vandføringen, og dermed strømhastigheden, bestemt af afstrømningen fra mølledammen opstrøms, og således er dette vandløbs strømhastigheder i højere grad end kildesprungne vandløb betinget af nedbørsforhold, og fordampning fra mølledammen.

Medianstrømhastigheden er desuden øget betydeligt i restaureringen, når dataene for oktober 2008 og januar 2009 sammenlignes. I sådanne restaureringsprojekter er det almindeligt at den gennemsnitlige strømhastighed falder, idet mæandreringen af et lige vandløb skaber et mindre fald over hele vandløbsstrækningen. Således kunne det også forventes i Skamlebækken, da faldet på den restaurerede strækning planlagdes til at falde fra 30 promille til 22 promille. Denne ændring i faldet var dog over

hele den restaurerede strækning, og særligt strækning 1 har i dette tilfælde beholdt et højere fald, og er udlagt som stryg. Der er dog ikke foretaget målinger til at bekræfte strækning 1's fortsat høje fald.

Desuden kan det ses af de gennemsnitlige breddemålinger, at vandløbet i restaureringen er mindsket i bredde, særligt markant på strækning 1. Dette mindskede tværsnit vil også være med til at øge vandhastigheden.

Vandløbets strømhastigheder kan, som de forestående data, ikke undersøges for en statistisk signifikant variationsændring, men på samme måde som ovenfor, kan det vurderes ud fra box-plottene, figur 5.14, figur 5.15 og figur 5.16. I disse er det tydeligt, at strømhastigheden umiddelbart efter restaureringen blev mere varieret, og det ser også ud til at strømhastighederne var mere varierede i august 2011 sammenholdt med oktober 2008, om end ikke i samme grad som i januar 2009. Det skal her bemærkes, at strømhastighederne målt i august 2011, næsten alle er målt i vandløbets midterste 30 cm, da den nedhængende brinkvegetation gjorde, at det ikke var muligt at foretage målinger tæt på denne. Det kan betyde, at der i vandløbet har været mere varierede strømhastigheder, særligt flere steder med lave strømhastigheder, end det her har været muligt at fastlægge gennem målingerne.

6.5 Bundsediment

Bundsedimentet er en vigtig fysisk parameter i vandløbet, og i dette afsnit vil udviklingen i Skamlebækkens bundsediment efter restaureringen i vandløbet blive gennemgået.

I oktober 2008, før restaureringen, bestod vandløbsbunden i Skamlebækken på både strækning 1 og 3 i høj grad af sand, mens der på strækning 2 var en høj andel af sten i bundsedimentet. Umiddelbart efter restaureringen bestod bunden næsten udelukkende af grovkornede sedimenter, mens der i dag er en stor andel af fintkornede sedimenter. De grovkornede sedimenter er udlagt gennem restaureringen, og derfor vil disse dominere umiddelbart efter.

I sammenligningen af bundsedimentforholdene umiddelbart efter restaureringen i 2009 og bundsedimentforholdene i august 2011 er der store forskelle. Vandløbsbunden bestod i august 2011 i højere grad af mere fintkornede sedimenter, og særligt på strækning 2 kunne det observeres, at der var en stor procentdel mudder, næsten 70 %, og ses der samlet på de fintkornede sedimenter, mudder og sand, observeredes næsten 85 % i denne kategori. På denne delstrækning er der observeret nedsunkne brinker flere steder, og da landskabet gennemgående består af sandblandet lerjord, jf. kapitel 2, vil dette kunne forklare denne sedimenttypes dominans. Det ser således ud til, at det er brinkernes ringe modstandskraft mod erosion, grundet en mulig dårligt drænet jord, som er medvirkende til, at brinkerne er nedsunkne. Dette skal kombineres med den strømningsbetingede erosion, opbremsningen af vandet, som gør, at det netop er på dette sted, at brinkerne er nedsunkne. Der er desuden registreret en signifikant lavere median-strømhastighed på strækning 2 sammenholdt med strækning 3 på dette tidspunkt, og dette vil også kunne forklare forskellen i bundsediment, da tærskelværdien for transport af selv fintkornet materiale ikke overskrides. På samme vis ser der også ud til at være steder, hvor strømhastighederne er så høje, at kun grovkornet sediment ligger tilbage; og forholdene er som umiddelbart efter restaureringen. Dette ses på enkelte tværsnit på strækning 1, og også ved målinger må strækning 3 (bilag 2). Der er således overensstemmelse mellem projektets resultater og projektets indledende hypotese på dette område, da hypotesen her fremsagde, at sedimentsammensætningen på

vandløbets bund ville ændres over tid, og blive mere varieret, delvist med baggrund i erosion af vandløbets brinker.

I kapitel 5.5 blev det desuden bemærket, at det særligt er lands vandløbets kant, at der på alle tværsnit er den største procentdel af bundsediment bestående af fintkornet materiale. Dette hænger højst sandsynligt sammen med, at der langs kanterne var en betydelig dækning af udhængende vegetation (figur 5.4), som kan være med til at sænke vandhastigheden på samme måde, som det er tilfældet for vegetation i vandløbet, jf. kapitel 3.4.

Det er dog i denne sammenhæng vigtigt at notere, at denne øgning i fintkornet materiale, kan være sæsonbetinget, og således hænge sammen med generelt lave stømhastigheder på dette måletidspunkt, som det blev observeret i Lindved Å (Sode, 2005). Således er dette ikke nødvendigvis et udtryk for at vandløbet over hele året, og mere permanent, har fået en bund bestående af mere fintkornet sediment.

Undersøgelserne kan desuden indeholde en fejlkilde, idet det ikke er tale om målbare data i form af sigtede jordprøver, men feltvurderinger, og da to personer har udført målingerne, Mikkel Røjle Bruun i 2008-2009, og egne målinger i 2011, er der basis for forskellige resultater, som ikke udelukkende afspejler en udvikling i vandløbsbunden.

6.6 Vandplanter

Vandløbets vegetation er ligesom vandløbets makroinvertebrater et udtryk for, hvor langt vandløbet er nået i en udvikling efter en fysisk restaurering. Vandløbsplanterne er medbetingende for bundsedimentet i vandløbet, og beplantningen på brinkerne er med til stabilisere disse, og dermed mindske tilførslen af nederoderet sediment herfra.

I selve vandløbet er ikke observeret megen vegetation, og særligt græsser, krybende hvene, synes at dominere vandløbets brinker. Arterne, som er fundet i vandløbet i denne undersøgelse, er planter, som oftest findes på enge, i fugtige jorde og ved vådområder med stillestående vand. Disse undersøgelser peger således mod, at den vegetation, der er at finde i vandløbet, er indvandret fra den græssede og ugræssede eng omkring vandløbet, og fra mølledammen opstrøms.

Egentlige undervandsplanter er ikke fundet i denne undersøgelse, men i alle registreringer fra 2009 er trådalger og mærke at finde på strækningen. De tidligere registreringer er fra både februar, marts og oktober, og årstiden burde således ikke være årsagen til, at disse undervandsplanter ikke er fundet i denne undersøgelse.

I projektets hypoteser, blev det fremlagt, at bundsedimentet ville kunne observeres som værende mere fintkornet, mellem vandløbets beplantning og mere grovkornet omkring denne. Da der ikke er observeret betydelig vegetation i selve vandløbet, kan denne hypotese hverken bekræftes eller afkræftes. Det er muligt, at yderligere vegetation med tiden vil indvandre til vandløbet, og at der således senere vil være baggrund for at undersøge denne parameter yderligere.

I henhold til tilførsel af bundsediment fra erosion af brinkerne, er græsvegetationen der her er fundet ikke tilstrækkelig til at sikre brinkerne, da krybende hvene hovedsagligt sætter lange overjordiske

udløbere (Bayer CropService, 2005), og således ikke et dybt rodnet, som skal til for at stabilisere de høje brinker.

6.7 Makroinvertebrater

Sammensætningen af makroinvertebratsamfundene er i høj grad et resultat af de fysiske forhold i et vandløb, og disse kan således undersøges med henblik på at få en bedre forståelse for vandløbets udvikling.

Vandløbets makroinvertebrater er undersøgt i forhold til en Shannon-Wiener diversitet, som undersøger for homogenitet og artsrigdom. Gennem hele den periode, vandløbet er blevet undersøgt, fra oktober 2008 til august 2011, findes lave Shannon-Wiener værdier. Shannon-Wiener indekssværdier ligger almindeligvis på 1-4, maksimalt 5, og hverken før eller efter restaureringen findes værdier over 1,63.

Der bør således ses på, hvordan udviklingen i disse værdier har været, og hvorvidt værdierne, og dermed homogeniteten og artsrigdommen, er øgede med restaureringen og den udvikling vandløbet har gennemgået fysisk efter restaureringen.

På faunaprøver fra oktober 2008, inden restaureringen er på strækning 1 fundet værdien 1,18, på strækning 2 til 1,30 og på strækning 3 til 1,11. For alle disse data fra oktober 2008 er det af datasættet tydeligt, bilag 4, at det særligt er en høj dominans af enkelte arter/familier i makroinvertebratsamfundene, som resulterer i de lave indekssværdier. Dominerende var her *Gammarus pulex* og *Potamopyrgus jenkinsii*. *Gammarus pulex* er en ferskvandstangloppes, som kan findes i de fleste danske søer og vandløb, hvor den findes under sten eller blandt planter i iltrigt vand (Steen, 2009). *Potamopyrgus jenkinsii* er en snegl, som fortrinsvist lever på blød bund (Naylor, 2006).

På faunaprøver fra januar 2009, umiddelbart efter restaureringen, er indekssværdien for strækning 1 1,04, og for strækning 3 1,28. Der er her ikke data for strækning 2. Indekssværdierne er således her næsten tilsvarende indekssværdierne før restaureringen, men dette tolkes ikke som at situationen er tilsvarende. Der er i januar 2009 langt færre arter repræsenteret, men deres fordeling er jævn, og derfor opnås samme indekssværdi.

I maj 2009 er udtaget faunaprøver, og her er indekssværdien for strækning 1 på 0,76, på strækning 2 på 0,99, og på strækning 3 på 1,21. Værdierne er således her mindre end i januar samme år, og dette hænger i høj grad sammen med, at der her er fremkommet en skævvridning i arssammensætningen på den måde at enkelte arter dominerer. Dominerende er Orthocladinae, dansemyggelarver, men også Naididae indet, en familie af børsteorme, og Simuliidae indet, en familie af kvægmyg, findes i stort antal.

I Juni 2009 findes værdierne 1,30, 1,28 og 0,93. Her dominerer Orthocladinae stadig, men artsantallet er steget, og blandt disse øvrige arter er fordelingen mere homogen.

I maj 2010 er også udtaget faunaprøver, og her er indekssværdien for strækning 1 på 1,39, på strækning 2 er den på 1,53, og på strækning 3 er den på 1,63. På dette tidspunkt er der en større homogenitet i artssammensætningen, men artsantallet er endnu ikke på højde med det observerede før restaureringen.

På alle tre strækninger findes for faunaprøverne fra august 2011 en lav Shannon-Wiener indekssværdi. Denne ligger således på 0,81 for strækning 1, 0,76 for strækning 2 og 0,71 for strækning 3. På dette tidspunkt er der igen en enkelt makroinvertebratfamilie, som dominerer, Simuliidae indet, kvægmyggelarven, og dette giver de lave værdier.

Det kan således observeres, at der i dataene for maj og juni i 2009 og 2010 findes højere Shannon-Wiener indekssværdier end der gør i dataene for august 2011. Arter, som således er fundet i årets tidligere måneder, kan have forladt vandløbet i august. Dette gælder bl.a. for Naididae indet, hvis livscyklus gør, at denne typisk er at finde i stort antal i forårs månederne, men i mindre antal i årets øvrige måneder (Kristensen, ingen dato). Dog observeres også højere Shannon-Wiener værdier i januar 2009, end i august 2011. De høje værdier i januar 2009 skyldes dog snarere at der her har været en jævn fordeling, altså en stor homogenitet blandt arterne, men ikke at der har været et stort artsantal. I januar 2009 findes således 1-4 individer af hver art, fordelt på 5 arter fordelt på de enkelte strækninger, mens der i august 2011 findes 1-380 individer fordelt på 7 arter på de enkelte strækninger (bilag 4).

Årsagen til faldet i indeks-værdien kan også skyldes et forskelligt udgangspunkt i dækningsgrad i indsamlingen af makroinvertebrater. I disse undersøgelser giver det de mest sammenlignelige resultater, hvis det tilstræbes at undersøgelsen af makroinvertebrater procentvis dækker det samme areal af vandløbsbunden til alle tider. Som det fremgår af tabel 6.1, har dette ikke til fulde været tilfældet. Dækningsgraden har således været en smule højere i undersøgelserne i januar 2009 end i august 2011, bortset fra på strækning 3. Dækningsgraden kan ikke forventes at have været højere i juni 2009 og maj 2010, hvor der særligt er observeret højere Shannon-Wiener værdier, da der her er taget færre prøver end i januar 2009. Til disse tidspunkter er der ikke angivet dækningsgrad, idet vandløbets bredde ikke kendes. Det er dog ikke store forskelle, der er at finde i dækningsgraden.

Det ser ud til fra tabel 6.1, at det ikke har været dækningsgraden, der har været bestemmende for de højere værdier i oktober 2008 sammenlignet med august 2011.

Tabel 6.1. Procent af vandløbsbund undersøgt for makroinvertebrater.			
	Strækning 1	Strækning 2	Strækning 3
Oktober 2008	0,7 %	2,6 %	2,1 %
Januar 2009	2,2 %	2,2 %	1,4 %
August 2011	0,9 %	1,6 %	2,2 %

I henhold til projektets hypoteser, ser det således ud til, at der efter restaureringen i perioden frem til maj 2010 er fremkommet den forventede øgede homogenitet og også til dels den forventede øgede artsrigdom. Arsrigdommen var i maj 2010 dog stadig ikke på niveau med den artsrigdom, der kunne observeres før restaureringen. I august 2011, hvor bundsedimentet ellers er blevet mere varieret, end det var umiddelbart efter restaureringen, kan der dog ikke ses forbedringer i makroinvertebratsamfundene.

I sammenligningerne af artsammensætningen indenfor makroinvertebrater over tid, skal det bemærkes, at denne fastsættes på baggrund af indsamlinger foretaget af to forskellige personer, og særligt vigtigt; på forskellige tidspunkter af året. Tidsrammen for dette projekt gør, at dataindsamling har været mulig i august, mens de øvrige data er at finde for oktober, januar, maj og juni. Da hver art af makroinvertebrater har sin egen livscyklus, som for mange arter betinger én livsfase i vand, og en anden på land, vil undersøgelsestidspunktet have stor betydning for, hvilke arter der findes i vandløbet. Dataindsamlingstidspunkterne vanskeliggør derfor en entydig konklusion. Der kan ikke drages konklusioner om en hverken forbedret eller forringet tilstand i vandløbets makroinvertebratsamfund efter restaureringen, idet dataene viser svingende Shannon-Wiener værdier, som måske snarere er årstidsbestemte.

I denne forbindelse er det også vigtigt, at der ikke er foretaget bestemmelser af vandløbets fysiske parametre; strømforhold, vandløbsdybde og –bredde, beplantning og bundsedimenter, i sammenhæng med alle makroinvertebratindsamlingerne. Det kan således være, at bundforholdene og vandets strømhastigheder har været forskellige på de pågældende tidspunkter, således at habitaterne har været forskellige.

6.8 Sammenhæng mellem forskellige parametre

I dette foretages en sammenholdning af alle projektets data fra august 2011. Dette gøres ud fra de sammenhænge, der synes at være ud fra gennemsnitsværdierne, f.eks. for bredden af vandløbet og strømhastigheden, om end der ikke statistisk kan vises en signifikant forskel på alle målinger her. I henhold til bredden, kan der således kun observeres en signifikant forskel på strækning 2 og 3. Der er ikke statistisk signifikant dybdeforskel på de tre strækninger i august 2011. Der er kun signifikant forskel på strømhastigheden på strækning 2 og 3 (bilag 5). Konklusionerne her har således et vist forbehold og relateres i højere grad til den visuelle observation i målingerne end de statistiske udregninger.

På strækning 1 ses den andenstørste gennemsnitlige bredde, den højeste gennemsnitlige vandhastighed, den mindste vanddybde og den strækning med mest bundmateriale bestående af sten, og mindst bestående af mudder. Her er der god sammenhæng mellem dataene, idet en høj strømhastighed giver et mere grovkornet bundmateriale. I kombination med den lave vanddybde giver det et billede af at strækningen stadig fungerer som det stryg, det blev udlagt til i restaureringen, til trods for lavere vandhastigheder, og en vis tilsanding og tilmudring. Denne strækning opnår den bedste værdi i Shannon-Wiener-indekset, på trods af, at der her undersøges på kun 0,9 % af strækningen. Den relativt høje værdi her er i god overensstemmelse med blandingen af groft og fint sediment på strækningen, og den gode iltning af vandet, som vil opstå ved stryg.

På strækning 2 ses den gennemsnitligt største andel mudder i bundsedimentet. Det er også på denne strækning, at der findes den gennemsnitligt største bredde og den gennemsnitligt laveste vandhastighed. Vanddybden er for dette måletidspunkt et sted mellem strækning 1 og 3. Der er således god sammenhæng mellem de forskellige fysiske forhold på denne delstrækning. En øget bredde giver mulighed for længere opholdstid for vandet, og dermed nedsat vandhastighed. Som følge af lav vandhastighed ses finkornet sediment, idet vandet ikke længere har samme kraft til transport af selv de fintkornede sedimenter. Den store bredde på denne strækning kan skyldes nedfald af underskårne

brinker. Der kan ikke ses en sammenhæng mellem de fysiske og biologiske forhold på strækningen. På den meget mudrede bund ville det forventes, at den laveste Shannon-Wiener diversitet ville findes, idet bestemte blødbundsarter ville dominere, og skabe en lav homogenitet i samfundet, men den laveste værdi findes på strækning 3, og på strækning 2 findes den midterste værdi.

På strækning 3 ses den laveste gennemsnitlige bredde, den andenhøjeste strømhastighed, den største gennemsnitlige vanddybde, og en bundsammensætning, der ligger mellem de to andre strækninger. På denne strækning begynder vandløbet at slynge sig, mæanderbuer findes umiddelbart opstrøms og nedstrøms (figur 4.1) og det må således formodes, at det er mere varierede strømhastigheder, der ligger bag gennemsnitsværdien og dermed også bag de mere varierede bundforhold.

Der kan ikke observeres en sammenhæng med Shannon-Wiener indeks-værdierne. Umiddelbart burde der opnås den højeste værdi på strækning 3, da der her findes mæandringer opstrøms og nedstrøms, samt et varieret bunddække, men i dataene for august 2011 og i juni 2009 findes på denne strækning den laveste indeksværdi. I tidligere målinger, maj 2009 og juni 2010, var det dog på denne strækning af den højeste indeksværdi kunne findes. Der foreligger ikke data for bundforhold og strømhastigheder på disse indsamlingstidspunkter, og det kan derfor ikke med sikkerhed siges, om det er ændringer i disse fysiske parametre, der giver forskellene i Shannon-Wiener-diversiteten.

6.9 Tidligere undersøgelser

I dette afsnit vil resultaterne fra dette projekt blive sammenholdt med tidligere undersøgelser i andre vandløb, og de fysiske forhold i vandløbet i dag vil blive sammenholdt med de forudsigelser der blev fremlagt i et tidligere specialestudie omhandlende Skamlebækken.

Den høje dækningsgrad af mudder i vandløbet kan skyldes nedsynkning af brinker. En specialestuderende fra Aalborg Universitet pegede umiddelbart efter restaureringen på, at netop dette kunne blive et problem, idet der på vandløbets brinker ikke i høj grad var opsat sten og ikke var foretaget tilsåning af brinkerne, som det ellers ofte foreskrives i vandløbsrestaurering (Bruun, 2009).

Der er dog i lovgivningen for området gode grunde til at en sådan tilsåning ikke har fundet sted, og fra planlægningen i Odsherred Kommune, har dette punkt været undersøgt i samarbejde med de ved kommunen ansatte biologer. Det har her været vigtigt at områdets arter indvandrer, og at vandløbet får mulighed for selv at finde et leje (Jensen, 2011).

Nedsynkningen af brinkerne ser ud til at hænge sammen med, at det i restaureringen fortsat har været nødvendigt at have vandløbet i nedgravet i forhold til landskabet. Denne nedgravning har været nødvendig, fordi ikke alle parter har været interesserede i at ændre vandløbets forløb. I løsningen på dette er nedgravningen således blevet resultatet. Vandløbet ligger således ikke placeret det laveste sted i landskabet, og udgangspunktet for vandløbets videre udvikling er således ikke som det var før kanaliseringen og opstemningen i mølledammen. I henhold til projektets hypotese om, at restaureringen danner et udgangspunkt for vandløbets videre udvikling, hvis dette er placeret rigtigt i forhold til landskabets højdeprofil, kan det således siges, at vandløbet er placeret så optimalt som de givne forudsætninger for restaureringen har tilladt. Dette betyder, at restaureringen har skabt et udgangspunkt for vandløbets videre udvikling, men de høje brinker, som har været nødvendige på grund af den givne placering af vandløbet, skaber nogle betingelser, hvor vandløbet muligvis vil blive

mere fintkornet i bundsedimentet, end det ville have blevet, hvis vandløbet var placeret, således at høje brinker ikke havde været nødvendige.

Tidligere undersøgelser af Lindved Å peger desuden på, at en tilsanding og tilmudring kan være periodisk, og således kan forsvinde igen (Sode, 2005). Dette hænger sammen med de på året gældende nedbørsforhold, og således hvor stor en vandføring og strømhastighed der har været i vandet. Således kan den tilmudring der er at se på strækningerne samlet, være midlertidig og årstidsbestemt. I Lindved Å kom tilsandingen fra en opstrøms urestaureret strækning. Det er ikke tilfældet på disse strækninger, idet strækningen opstrøms ligger ureguleret, og idet mølledammen vil fungere som et sandfang.

I det fysiske indeks blev det desuden tydeliggjort at der i særlig høj grad ikke tildeltes værdier i ”vandløbsparametre”. Denne parametergruppe omhandler i høj grad vegetationen i vandløbet, og det ses her, at i denne del af Skamlebækken opnås kun gode værdier i ”udhængende vegetation”. Der er kun lidt emergent vegetation, og næsten ingen undervandsvegetation. Dette afviger fra resultater opnået i et andet dansk vandløb. I undersøgelsen fra Lindved Å, fremkommer den største vækst i undervandsplanter i de første 3-5 år efter restaureringen, da vandløbet her ligger lysåbent (Sode, 2005). Skamlebækken ligger på nuværende tidspunkt også forholdsvist lysåbent, idet der kun er enkeltstående træer, som danner skygge langs den restaurerede strækning.

På en delstrækning af Gudenåen ses dog resultater lignende de, der er fundet i Skamlebækken. Her konkluderes det, at der efter 2 år ikke er opnået samme plantedække i vandløbet, som før restaureringen, men at brinkvegetationen var indvandret (Baattrup-Pedersen *et al.*, 2000). I Skjern Å var undervandsvegetation også indvandret til vandløbet få år efter restaureringen. Dette vandløb har dog nogle fysiske forhold, som adskiller det fra Skamlebækken. I Skjern Å ligger der flere referencestrækninger opstrøms de restaurerede strækninger, og der er en ubrudt forbindelse mellem alle vandløbs dele (Pedersen *et al.*, 2007). I Skamlebækken findes også en opstrøms referencestrækning, hvorfra planter kan indvandre, men der er ikke samme ubrudte forbindelse mellem referencestrækningen og den restaurerede strækning, idet mølledammen her muligvis kan fungere som en spærring.

Det er muligvis også af denne årsag, at der ikke er sket samme udvikling i makroinvertebratsamfundene, som er at finde i Skjern Å. I Skjern Å kunne der efter få år konstateres en større artsdiversitet i vandløbet, og der kunne identificeres en større homogenitet. Der var således ikke længere én dominerende art, som det 2½ år efter restaureringen i Skamlebækken stadig kan ses.

7 Konklusion

Gennem dette projekt er en restaurering af Skamlebækken på Nordvestsjælland evalueret i forhold til tilstanden før restaureringen, og særligt den udvikling der er fremkommet i vandløbet i en periode på 2 ½ år efter restaureringen. Vandløbets tilstand i dag er også gennemgået. Projektet har omhandlet fysiske forhold i vandløbet, og de af de fysiske forhold resulterende biologiske forhold. Projektets problemformulering lyder:

Hvordan er sammenhængen mellem de fysiske og biologiske forhold i Skamlebækken i dag, og hvilken udvikling er der sket i vandløbets fysiske forhold, planter og smådyr siden restaureringen i 2009?

De fysiske forhold i vandløbet blev forbedret på den undersøgte strækning i form af udlægning af mæanderbuer, og et bundsedimentdække, som var betydeligt mere grovkornet, end det der var at finde før restaureringen. I undersøgelserne ser det ud til, at bundsedimentet over tid bliver mere fintkornet, på én strækning gående mod at have op til 85 % fint materiale i august 2011 fra at have været bestående udelukkende af grovkornet sediment lige efter restaureringen. En vis grad af tilførsel af fintkornet sediment er forventeligt på grund af almindelige erosions- og aflejringsprocesser. Dette kan dog skyldes nedbørsbetingede sæsonvariationer. Flere målinger i oktober og januar er nødvendige for at undersøge dette.

Strømhastigheden i vandløbet blev umiddelbart efter restaureringen øget, til trods for et mindsket fald på hele strækningen. Fra restaureringen til dette projekts undersøgelsestidspunkt er strømhastigheden faldet signifikant på de to strækninger længst nedstrøms. Dette kan dog også være nedbørsbetingede sæsonvariationer.

Vandløbets dybde er signifikant øget på de to strækninger længst nedstrøms, hvor vandløbets slyngninger begynder, og vandløbets bredde er signifikant øget på strækning 2. Variationen i vandløbets bredde ser ud til særligt at være øget på strækning 3, hvor mæanderbuer findes opstrøms og nedstrøms.

I dette projekt er det kun delvist muligt at konkludere en sammenhæng mellem fysiske og biologiske forhold i vandløbet. De højeste Shannon-Wiener værdier burde kunne forventes at findes på strækninger med stor diversitet i fysiske forhold, såsom bundsedimentdække, idet dette er med til at skabe stor diversitet i makroinvertebrathabitater. Den bedste indekssværdi er således fundet, hvor der er den mest varierede konstruktionsfordeling i bundsedimenterne, men den laveste værdi er ikke tilsvarende fundet, hvor der er den mindst varierede kornstørrelsesfordeling i bundsedimenterne.

Det kan konkluderes, at hvor biologiske forhold, såsom tilstedeværelsen af et homogent og mere artsrigt makroinvertebratsamfund, i andre restaureringsprojekter indfinder sig 2-3 år efter restaureringen, som resultat af de fysiske forbedringer der er foretaget i vandløbet, er dette ikke sket i Skamlebækken. På dette projekts undersøgelsestidspunkt, august 2011, findes stadig færre arter end før restaureringen.

Der er ikke fundet betydeligt med planter i selve vandløbet, men vegetation er indvandret til brinkerne. Den vegetation som er fundet i vandløbet er hovedsagligt planter tilpasset blød og fugtig jordbund. Brinkvegetationen består hovedsagligt af græsser med overfladenære rødder, som ikke danner tilstrækkeligt dybt rodnet til at stabilisere de høje brinker. Det kan konkluderes, at der langs vandløbets bred, hvor vegetation hænger ud i vandløbet, findes høje koncentrationer af fintkornet materiale, med årsag i lave strømhastigheder.

Litteraturliste

Andersen, J.M. (Red.) (2005). *Vandmiljøindsatsen*. 9 Miljøbiblioteket. DMU. Hovedland. ISBN: 87-7739-795-9

Baatrup-Pedersen, A. (2000). *Planter i vandløb –fortid, nutid og fremtid*. Tema-rapport fra DMU, nr. 34 2000, Miljøstyrelsen, Miljøministeriet.

Baatrup-Pedersen, A.; Riis, T.; Hansen, H.O. & Friberg, N. (2000). "Restoration of a Danish headwater stream: short-term changes in plant species abundance and composition" i: *Aquatic Conservation. Marine and Freshwater Ecosystems*. Vol. 10, (2000), Wiley

Bayer CropScience (2005). *Græsnøglen – en praktisk håndbog til identifikation*. Lokaliseret d. 10. august 2011 på World Wide Web: <http://www.bayercropscience.dk/index.php?id=1464>

Bendsen, T. (2009). *Noter i statistik for bioanalytikere*. Lokaliseret d. 12. oktober 2011 på World Wide Web: <http://statnoter.biolyt.dk/>

Bruun, M.R. (2009). *Restaurering af små danske kildebække – et case-studie af genslyngningen af Skamlebækken i Odsherred*. Speciale ved Aalborg Universitet

Carter, J.L.; Resh, V.H.; Hannaford, M.J. & Myers, M.J. (2006). "Macroinvertebrates as Biotic Indicators of Environmental Quality" i: Hauer, F.R. & Lamberti, G.A. (Red.) (2006). *Methods in Stream Hydrology*. 2. udgave, Elsevier Inc. ISBN 13: 978-0-12-332907-3

Danmarks Miljøundersøgelser (1990). *Danske vandplanter*. Miljønyt nr. 2 1990, Miljøstyrelsen, Miljøministeriet.

Gørtz, P. (1998). "Effects of stream restoration on the macroinvertebrate community in the River Esrom, Denmark" i: Boon, P.J. & Baxter, J.M. (Red.) (1998). *Aquatic Conservation. Marine and Freshwater Ecosystems*. Vol. 8, Nr. 1, Wiley

Hansen, A. (1973). *Rostrup/Jørgensen Den danske flora – En populær vejledning til at lære de danske planter at kende*. 20. udgave. Gyldendal. ISBN: 87 00 59711 2

Hansen, H.O. & Baatrup-Pedersen, A. (2006). "A new development: Stream restoration" i: Sand-Jensen, K.; Friberg, N. & Murphy, J. (Red.) (2006). *Running Waters – Historical development and restoration of lowland Danish streams*. National Environment Research Institute, Denmark. ISBN: 978-87-7772-929-4

Hauer, F.R. & Resh, V.H. (2006). "Makroinvertebrates" i: Hauer, F.R. & Lamberti, G.A. (2006). *Methods in Stream Hydrology*. 2. udgave, Elsevier. ISBN 13: 978-0-12-332907-3

Jacobsen, D. (1998). *Introduktion til analyse af samfundsstruktur – et kompendium til brug ved kursusmodul "Biologisk forureningsbedømmelse af vandløb"*. 2. udgave, Ferskvandsbiologisk Laboratorium, Københavns Universitet

Jensen, G.A. (2011, 6. juli). Personlig korrespondance.

Kort og Matrikelstyrelsen (ingen dato). *Kort på nettet – Landkort*. Lokaliseret d. 5. august 2011 på World Wide Web:

http://kmswww3.kms.dk/kortpaanettet/index.htm?map=&searchType=c_ADDRESS&serviceName=&inputSogedata=skamleb%E6kvej

Kort og Matrikelstyrelsen (ingen dato b). *Danmarks Miljøportal. Data om miljøet i Danmark*. Lokaliseret d. 5. oktober 2011 på World Wide Web: <http://kort.arealinfo.dk/>

Kristensen, P. (ingen dato). *Vandløbsøkologiske studier af invertebratfaunaen i Kobbåd – et typisk bornholmsk sprækkevandløb*. Lokaliseret d. 12. januar 2012 på World Wide Web: <http://www.biokon.dk/faunaen/faunaen.htm>

Kronvang, B.; Svendsen, L.M.; Ovesen, N.B. & Hoffmann, C.C. (2000). ”Ådale og vandløb” i: Sand-Jensen, K. & Friberg, N. (Red.); *De strømmende vande*. Gads Forlag

Kronvang, B.; Hansen, H.O.; Friberg, N.; Larsen, S.E.; Fjorback, C. & Johnsen, R. (2000). *Habitat surveys as a tool to assess the benefits of stream rehabilitation I: the physical dimension*. Verhandlungen des Internationalen Verein Limnologie

Madsen, B.L. (1995). *Vandløbene – ti år med den nye vandløbslov*. Miljønyt nr. 13. Miljø- og Energiministeriet, Miljøstyrelsen

Miljøstyrelsen (1998). *Biologisk bestemmelse af vandløbskvalitet*. Vejledning fra Miljøstyrelsen nr.5 1998

Naylor, M. (2006). *Jenkin's spire shell (Potamopyrgus jenkinsii)*. Lokaliseret d. 12. januar 2012 på World Wide Web: http://www.frammandearter.se/0/2/english/pdf/Potamopyrgus_antipodarum.pdf

Odsherred Kommune (ingen dato). *Netkort*. Lokaliseret d. 25. oktober 2011 på World Wide Web: <http://netkort.odsherred.dk>

Odsherred Kommune (2008). *Reguleringsprojekt Skamlebækken*. Kommunal skrivelse, sagsnummer 3328043

Odsherred Kommune (2009). *Skamlebæk Å delvist frilagt – for naturens skyld*. Lokaliseret d. 29. juni 2011 på World Wide Web: <http://www.odsherred.dk/page3899.aspx>

Pedersen, M.L. & Baattrup-Pedersen, A. (Red.) (2003). *Økologisk overvågning i vandløb og på vandløbsnære arealer under NOVANA 2004-2009*. Danmarks Miljøundersøgelser. Teknisk anvisning fra DMU nr. 21

Pedersen, M.L.; Kronvang, B.; Sand-Jensen, K. & Hoffmann, C.C. (2006 a). ”Lowland river systems – processes, form and function” i: Sand-Jensen, K.; Friberg, N. & Murphy, J. (Red.) (2006). *Running Waters – Historical development and restoration of lowland Danish streams*. National Environment Research Institute, Denmark. ISBN: 978-87-7772-929-4

Pedersen, M.L.; Sode, A.; Kaarup, P. & Bundgaard, P. (2006 b). *Fysisk kvalitet i vandløb*. Danmarks Miljøundersøgelser. Faglig rapport fra DMU nr. 590

Pedersen, M.L.; Friberg, N.; Skriver, J.; Baattrup-Pedersen, A. & Larsen, S.E. (2007). *Restoration of Skjern River and its valley – Short-term effectson river habitats, macrophytes and macroinvertebrates*. I: Ecological Engineering, 30, s. 145-156

Robert, A. (2003). *River Processes. An Introduction to Fluvial Dynamics*. Arnold. ISBN: 0 340 76339 6

Sand, H. (1996). "Miljøreformen" i: Rehling, D (red.) (1996). *Miljø- og Energiministeriet 1971-96: Undfangelse, udvikling og udblik*. Miljø- og Energiministeriet. ISBN. 87-601-6789-0

Sand-Jensen, K. & Lindegaard, C. (1996). *Økologi i søer og vandløb*. Gads Forlag. ISBN: 87-12-03058-9

Skinner, B.J.; Porter, S.C. & Park, J. (2004). *Dynamic Earth – An Introduction to Physical Geology*. 5. udgave, John Wiley & Sons, Inc.

Sode, A. (2005). *Omlægning af Lindved Å ved Hollufgård – effekter og erfaringer*. Fyns Amt. Natur- og Vandmiljøafdelingen. ISBN: 87-7343-588-0

Steen, M. (2009). *Ferskvandstangloppe*. Lokaliseret d. 12. januar 2012 på World Wide Web: <http://www.naturporten.dk/temaer/danmarks-dyr/krebsdyr/item/ferskvandstangloppe>

Søndergaard, M.; Skriver, J. & Henriksen, P. (Red.) (2006). *Vandmiljø – biologisk tilstand*. Forlaget Hovedland. ISBN 10: 87-7739-887-4

Wandall, K.; Levesen, B.; Landsfeldt, P. & Frandsen, S.B. (2000). *Bedre vandløb – en praktisk håndbog*. Vejle Amt og Sønderjyllands Amt. ISBN: 87-7750-530-1