

Restaurering af små Danske Kildebække

- Et case studie af genslygningen af Skamlebækken i Odsherred.

Synopsis:

Udarbejdet af:

Mikkel Røjle Bruun

Vejleder:

Morten Lauge Pedersen

Projektperiode:

1. september 2008 - 8. oktober 2009.

Oplagstal: 7

Sideantal: 93

Bilagsantal: 3

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

Forsidebilleder:

Øverst til venstre: *Überørt strækning ved prøvestationen.*
Øverst til højre: *Restaureret Skamlebæk omkring strækning 1.*
Nederst: *Überørt område omkring referencestrækningen.*

Gennem tiden er mange danske vandløb blevet udrettet og lagt i kanaler for at øge vandstrømningen i dem. Dette er sket med det formål at indvinde de vandløbsnære enge til landbrugsjord.

Dette syn på vandløb som transport kanaler for vand er dog ændret op gennem tiden. Specielt ved vandløbsloven fra 1982 begyndte man at se på vandløbets værdier som naturenhed igen. I forbindelse med dette ændrede syn på vandløb og i forbindelse med målene for vandrammedirektivet er der blevet restaureret en mængde danske vandløb.

Disse vandløb restaureres med en øget naturkvalitet og en formindsket udledning af næringsstoffer til fjorde og søer som mål.

Men selvom der er blevet gennemført mange af disse projekter siden 1982, så er det begrænset hvor mange af disse vandløb man har fulgt med undersøgelser både før restaureringen, og i tiden efter.

Dette gør dette projekts undersøgelser af ændringerne i Skamlebækkens dybde, bredde, vandstrømning, sediment og bundsediments sammensætning relevant.

Ud fra undersøgelserne vurderes det at Skamlebækken har gennemløbet en drastisk ændring ved restaureringen. Om denne ændring er rent positiv er dog ikke muligt at vurdere med den tidsperiode der arbejdes med i dette projekt.

Det kan dog siges at en så gennemgribende restaurering bør gennemgås nøje før den startes idet der er tale om en stor tidsskala før åen finder tilbage til en balance situation.

Forord

Dette lange afgangsprøveprojekt er udarbejdet under 9 og 10 semester på Kandidatuddannelsen i Naturgeografi ved Institut for Byggeri og Anlæg, Det Ingeniør-, Natur- og Sundhedsvidenskabelige Fakultet ved Aalborg universitet.

Projektet er skrevet om den restaurering af et stykke af Skamlebækken på Sjælland som Odsherred kommune foretog i vinteren 2008-2009.

Det overordnede emne for specialet, Vandløberestaurering, kombineret med tidsperioden for Skamlebækkens restaurering gjorde at dette vandløb var det indlysende at beskæftige sig med over projektet. Formålet med restaureringen var at sikre de nærliggende huse mod oversvømmelser og forbedre den økologiske kvalitet af vandløbet. Fokus i projektet er på undersøgelser af de fysiske forhold der udgør Skamlebækken og den udvikling disse gennemgår ved restaureringen. Dette er blandt andet bredde, dybde, strømhastighed, bundsediment og sediment transport.

Når der i rapporten tales om vandløbet er det Skamlebækken der henvises til. Og projektområdet er det stykke af vandløbet der blev restaureret som det fremgår af figur 1.

Mikkel Røjle Bruun

Indholdsfortegnelse

Synopsis:	1
Forord.....	3
Abstract	6
1. Indledning og problemstilling.....	7
1.1 Problemformulering:	10
2. Projekt området geologisk set	11
2.1 Restaureringsprojektet i Skamlebækken	13
2.2 Restaureringens relevans.....	15
3. Teori afsnit	17
3.1 Vandløbets udformning.....	17
3.1.1 Vandløbets form:.....	18
3.1.2 Det lige vandløb:	19
3.1.3 Det slyngede vandløb:.....	20
3.2 Vandløbets afstrømning	21
3.3 Strømhastigheden	22
3.4 Sediment.....	25
3.5 Shields parameter	28
4. Metode Afsnit	31
4.1 Vandstandsmålinger med tryktransducer.....	32
4.2 Vandføringsmålinger	34
4.3 Q-H relation	37
4.4 Suspenderet stof	39
4.5 Transektmålinger	43
4.6 Bundprøver.....	44
4.7 Gis	44
4.8 Statistisk gennemgang af data.....	45

5. Databehandling	47
5.1 Den overordnede udvikling.....	47
5.2 Delstrækninger	61
5.2.1 Strækning 1	61
5.2.2 Strækning 2	65
5.2.3 Strækning 3	69
5.2.4 Reference	74
6. Diskussion.....	79
7. Konklusion	87
8. Litteraturliste.....	91
Bilag A Bredde, Dybde, Areal og Vandføring.....	94
Bilag B Sedimentsammensætning og Vandtransport.....	95
Bilag C Nedbør, Gross stream power, Specifik stream power og Shear stress.	96

Abstract

This master thesis deals with the effects of stream restoration in a small Danish stream. The initial problem of the project is related to stream Skamlebækken on Zealand in Denmark. A complaint about flooding made Odsherred County, in charge of this area of expertise, plan a restoration of the part of stream Skamlebækken that is close to housing. This restoration has the goal of securing the nearby houses from future flooding and improving the ecological quality in and around the stream. The restoration will result in a whole new stream bed, new sediment and a new placement of the streambed. Another result of the restoration is that the stream will be dug deeper down into the ground to protect the houses against flooding. As a result the stream is lowered 1 m.

The project will look at the effects of this restoration based on different physical aspects of stream Skamlebæk before and after the restoration. The key factors that will be monitored through the restoration are stream width, depth, water flow, sediment transport and stream bottom sediment composition. The project is based on results taken from before the restoration to 3 months after the restoration.

The aims of the project were to evaluate if the restoration result in a better protection from flooding of the surrounding houses and an increased ecological status for the stream. These factors were surveyed on 4 parts of the stream that were marked off and measured. Measurements of stream width and depth, sediment quality and water flow were taken across the stream. The parts were spread out with 3 in the restoration targeted area and 1 as a reference outside the targeted area. Downstream the targeted area a station with sediment trap and tools to set the water depth made sure that these parts of the survey were covered.

The data show that the restoration has resulted in a changed stream in many aspects. All measured key factors including sediment, stream width and depth and water flow have been changed in the restored area. The big question is if all these changes have improved the ecological status. It is clear that the nearby houses are safe from flooding in the way the stream has been lowered but the effect on the ecological quality of the stream as a habitat is not as clear. Before it is possible to say for sure it will require a number of years for the stream to stabilize. Therefore it is not possible to say if the restoration has been a success yet. This will require a longer time span than what was available for this project.

1. Indledning og problemstilling.

De danske vandløb er igennem de sidste flere hundrede år blevet udrettet og de vandløbsnære arealer blevet drænet og udlagt til landbrug [Iversen og Ovesen, 1997]. Denne tilgang til vandløbene bundede i opfattelsen af vandløbene som afledningskanaler for vand. Et godt vandløb skulle hurtigst muligt fjerne det overskydende vand fra området, så der ikke opstod oversvømmelser, der kunne være til gene for landbrug, industri og bebyggelse [Iversen og Ovesen, 1997].

Fra omkring 1950'erne og frem skete der en stigning i anvendelsen af kunstgødning i landbruget. Den deraf følgende øgede udledning af næringsstoffer kombineret med udledning af urensset spildevand fra by og industri, resulterede i at de danske vandløb fik en kraftigt øget tilførsel af næringsstoffer [Pedersen og Tjell, 2000]. Denne øgede mængde næringsstoffer havde en negativ virkning, i mindre grad på vandløbene, men i større grad på søer og fjorde grundet vandets, og dermed næringsstoffernes, længere opholdstid her [DMU 2003]. Den negative virkning bestod i, at den biologiske produktion, i form af algevækst, i søer og fjorde steg kraftigt. Denne øgning i biomassen resulterede i, at der blev større konkurrence om den stabile iltmængde, med en mangel situation som følge. Dette medførte, at både hyppigheden og omfanget af iltsvind i de danske farvande blev øget kraftigt [DMU 2005]. Iltsvind har så vidt vides altid fundet sted i mindre omfang i de indre fjorde under varme somre, når forholdene var til det. Men det kraftige tilskud af næringsstoffer og den følgende tilvækst i algeproduktionen gjorde, at det var noget, der forekom langt oftere og over meget større områder [DMU 2005].

Det var først i 1981, at man fra politisk side begyndte at blive opmærksom på dette voksende problem for de danske vandmiljøer, fagligt set var problemet kendt lang tid før. Gennem medierne blev offentligheden gjort opmærksom på problemet med reportager fra de ramte farvande, og det blev følgende konkluderet, at det ville være muligt at begrænse iltsvindet ved at begrænse tilførslen af næringsstoffer til vandmiljøerne. Det første forsøg på dette fra offentligt hold var NPO-planen (kvælstof, fosfor og organisk stof), der blev vedtaget i 1985 [DMU 2005, B]. Denne plan havde som formål at sænke landbrugets udledning af næringsstoffer. Planen var dog ikke tilstrækkelig til at sænke hyppigheden af iltsvind til et acceptabelt niveau [DMU 2005, B]. Grunden til at tiltagene fokuserede på landbrugets udledning var, at det var relativt simpelt at begrænset udledningen fra bebyggelse og industri. Disse to områder leder nemlig deres udledninger gennem kloakkerne og

gennem rensningsanlæg. Det var altså muligt at fokusere indsatsen på renseanlæggene og opnå en hurtig forbedring. Det var i større grad et problem at begrænse landbrugets udledning, idet denne foregår fra alt landbrugslandet og dermed er mere diffus i sin karakter. Med andre ord var det langt lettere at begrænse industrien og bebyggelsens udledning, idet denne er meget koncentreret.

Næste forsøg på at reducere udledningen af næringsstoffer til de danske farvande var Vandmiljøplan 1 fra 1987. Denne plan havde målene, at den samlede udvaskning af kvælstof skulle reduceres med 50 % og den samlede udledning af fosfor med 80 %, begge reduktioner i forhold til udledningen i 1987. Tidsrammen for denne reduktion blev fastsat til år 1993.

Det lykkedes dog kun for landbruget at sænke udledningen med cirka halvdelen af det målsatte til 1993, og det var derfor nødvendigt med en Vandmiljøplan 2. Denne blev vedtaget i 1998 blandt andet som resultat af det kraftige iltsvind, der blev observeret i Mariager fjord i 1997. Målet med vandmiljøplan 2 var at reducere udledningen af kvælstof med 37.000 ton set i forhold til den samlede udledning i 1998 på 576.000 tons [Sand-Jensen, 2000]. Et yderligere fokusområde i vandmiljøplan 2 var at specificere hvilke tiltag, der burde tages i brug for at opfylde målene fra vandmiljøplan 1.

Vandmiljøplan 3 blev vedtaget i 2004 og er det sidste tiltag i forsøget på at forbedre vandmiljøforholdene for de danske vandløb, søer og fjorde. Vandmiljøplan 3 bygger videre på de resultater, der blev opnået med Vandmiljøplan 1 og 2. Vandmiljøplan 3 er også det værktøj, som regeringen vil bruge til at opfylde de krav, som EU's Vandrammedirektiv stiller til de danske vandløb. Målene for vandmiljøplan 3 er, at landbrugets udledning af kvælstof skal reduceres med mindst 13 % og fosfor med 50 % inden år 2015. Begge disse reduktions-mål er set i forhold til den samlede udledning fra landbruget i år 2004. Grunden til, at 2015 er valgt som frist for opfyldelse af målsætningen, er, at det er i dette år kravene fra Vandrammedirektivet skal være nået.

Virkemidlerne i vandmiljøplan 3 er blandt andet restaurering af vådområder og vandløb [Miljøministeriet, 2003]. Restaurering af vandløb kan forbedre den økologiske tilstand nedstrøms på følgende måde: Når der finder oversvømmelser sted, hvad der normalt gør på en naturlig mæandreende å-strækning, så vil vandet i åen sprede sig ud over de omkringliggende arealer. Når vandet befinder sig her, vil der et stykke under overfladen opstå iltfrie forhold, og dette vil resultere i en denitrifikationsproces, der reducerer vandets indhold af kvælstofforbindelser ved at omdanne det til frit kvælstof og frigive det til atmosfæren [Andersen et al, 2000].

Som følge af de krav Vandrammedirektivet stiller til den økologiske tilstand, så skal en stor del af de danske vandløb restaureres og følgende have forbedret deres økologiske tilstand inden år 2015. Derfor er der større fokus på restaurering af vandløb nu end før i tiden. Og der er også flere midler til rådighed til netop denne form for projekter, idet det er nødvendigt at skaffe sig et overblik over, hvorvidt de enkelte restaureringer reelt set forbedrer den økologiske tilstand eller ej [DMU 2004].

Restaurering af et vandløb burde umiddelbart være en positiv ting for vandløbet. Her er der tale om både økologiske, faunamæssige og rekreative mæssige fordele, samt en gavnlig effekt for områderne nedstrøms vandkemisk set. Men i forbindelse med alle disse restaureringsprojekter landet over er det relevant at stille spørgsmålet: Er disse projekter alle lige givtige for den økologiske tilstand samt faunaen i området? Ydermere er det relevant at undersøge, hvilke tidshorisonter der er tale om i genopretningen. Forventer man at opnå positive resultater for vandløbets økologiske tilstand 1 år efter restaureringen? Eller er der tale om et længere perspektiv på fx 10, 20 eller op til 40 år, før man forventer at den økologiske tilstand har nået det målsatte efter en restaurering. Og alt efter hvilken tilgang projektet tager, er denne tidshorizont velgennemtænkt? Med disse aspekter for øje er det muligt at vurdere om det enkelte projekt er velgennemtænkt og har opnået de målsatte resultater.

I den forbindelse er det relevant at undersøge restaureringsprojektet af et stykke af Skamlebækken i Odsherred kommune, Sjælland. Skamlebækken er et lille vandløb, hvor der vil blive gennemført restaurering for at forbedre den naturmæssige kvalitet samt sikre de nærliggende huse mod eventuelle oversvømmelser fra bækken. At oversvømmelser af Skamlebækken i en uændret tilstand vil ulejlig de nærliggende huse er sikkert, idet den rørlagte del af bækken går direkte gennem kælderen af et af husene. Skamlebækken har samtidig en størrelse, der gør det muligt at undersøge bækken inden for de tidsmæssige parametre i dette projekt.

Alle disse iagttagelser leder frem til en problemformulering der lyder:

1.1 Problemformulering:

”Hvilken indflydelse har restaureringen af et mindre vandløb på vandløbets fysiske forhold (dybde, strøm, fald og bundsediment), er disse forhold naturlige og kan restaureringen af casestudiet Skamlebækken betegnes som en succes inden for den afsatte tidsramme?”

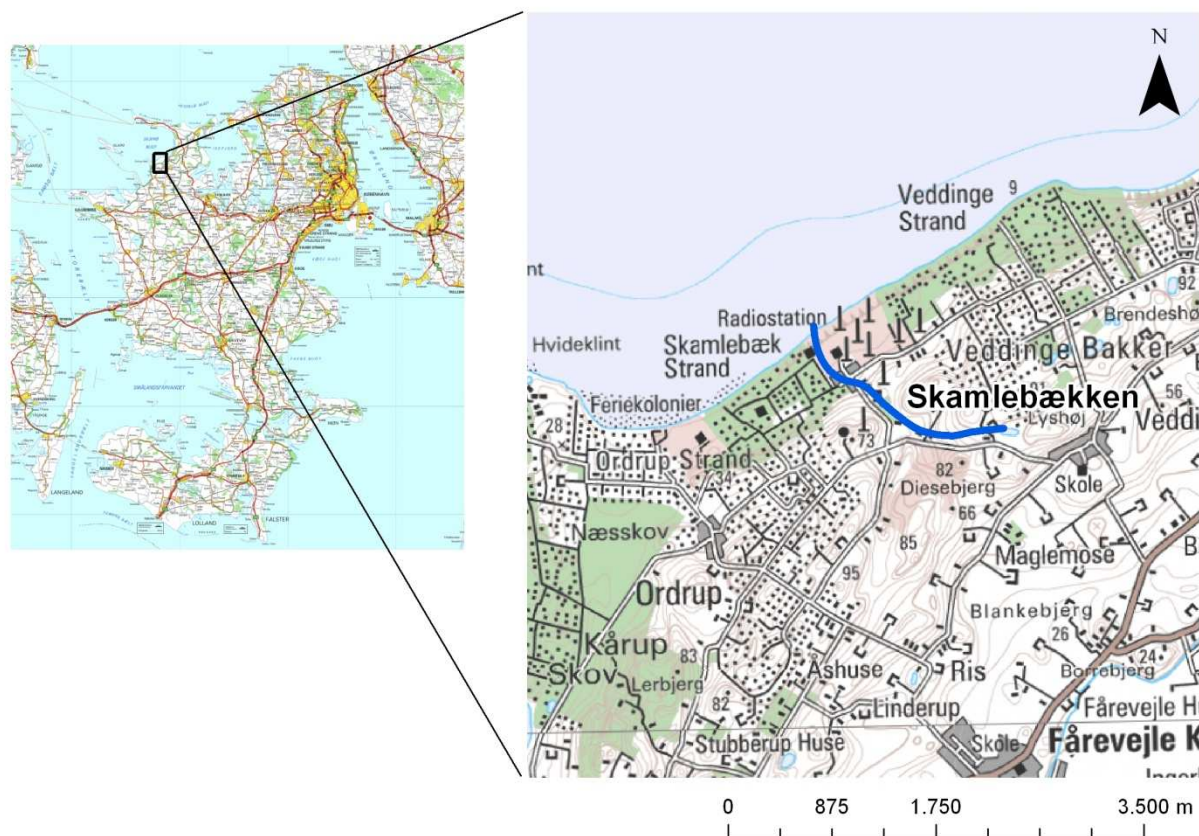
Underspørgsmål:

1. ”Er restaureringsprojektets mål om at forbedre den fysiske tilstand i vandløbet opnået?”
2. ”Hvilken udvikling har vandløbets fysiske form gennemgået igennem det første halve år?”
3. ”Hvordan har restaureringen påvirket vandløbets bundsediment og sedimenttransporten?”

Projektet er opbygget med en indledning og problemstilling, der ridser selve grundlaget for projektet op. Efter dette vil området omkring Skamlebækken blive gennemgået for at fastsætte rammeforholdene for projektet. Teorien bag genopretning af vandløb, hydraulisk og geomorfologisk vil blive gennemgået for at skabe et overblik over, hvilke tilgange der er mulige for et projekt af denne type. Her vil der blive fokuseret på netop restaurering af mindre vandløb. En gennemgang af de metoder og tilgange, der er blevet anvendt i projektet vil følge og efter dette vil selve Skamlebæk projektet blive gennemgået, samt de resultater der er opnået gennem felt og laboratoriearbejdet. Disse resultater vil blive analyseret og diskuteret i forhold til andre projekter af lignende størrelse. Dette vil lede videre til den endelige konklusion på problemformuleringen.

2. Projekt området geologisk set

Skamlebækken ligger i Odsherred kommune og i dette afsnit vil den geologiske historie for området blive beskrevet, ydermere vil selve formålet med restaureringsprojektet blive gennemgået.



Figur 1: Skamlebækkens placering

Skamlebækken ligger i Odsherred kommune, på det nordvestlige Sjælland som det ses på ovenstående figur 1. Det geologiske hovedtema i området er den glacielle landskabsserie, skabt i forbindelse med Bælthavsfremstødet mod slutningen af sidste istid for 17 til 18 tusind år siden, nemlig Weichsel-istiden [Sjællands geologi].

De resulterende tre randmoræner udgør sammen med de tilhørende tre inderlavninger, Lammefjorden, Sidinge fjord og Nykøbing bugt, det meste af Odsherreds landskab. Smeltevandssletterne, der også er resultat af Weichsel-istidens transformation af landskabet, er ikke så tydelige her, som de fx er i det østlige Jylland. Grunden til dette er, at størstedelen af denne

smeltevandslette er oversvømmet af Sejro bugt eller dækket af yngre aflejringer [Sjællands geologi].

Hvis man ser videre på Ordrup Næs, der ligger lige vest for Skamlebækken, er der klintprofiler der viser iskontaktsedimenter fra Storebæltsgletsjeren og flager af marine sedimenter, sandsynligvis fra Elster-istiden, en istidsperiode der strakte sig ca. fra 350.000 til 250.000 f. Kr [Store Danske encyklopædi].

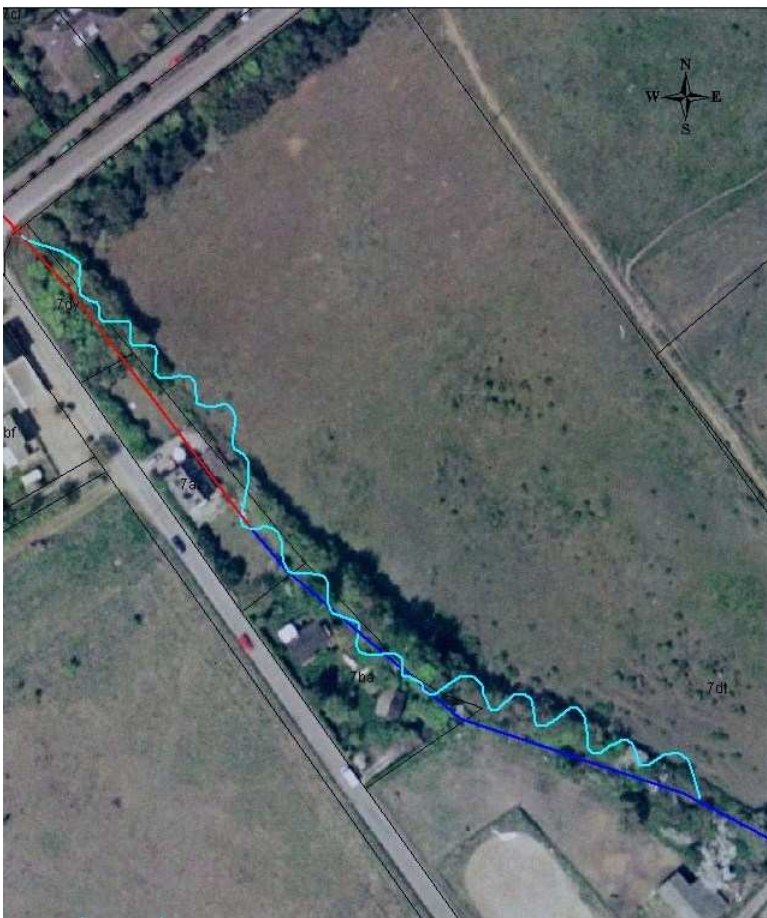
Den nutidige kystudvikling viser dannelser af blandt andet Korevler og Sanddobber. Korevler er en barrierekystr under konstant udbygning siden Stenalderhavets maksimum. Det marine forland, som Skamlebækken flyder igennem på sin vej ned fra bakkerne, bygger ud på den flade hedeslette foran Odsherredbuerne, som bakkerne også kaldes. Udbygningen er sket i form af barrieredannelse, hvoraf Korevlerne er det yngste eksempel. De ældre barrierer fremstår som vidstrakte strandvolde i Trundholm mose, et stykke nordøst for Skamlebækken.

Sanddobberne er barrierekystr under udbygning ved indvandring af en barre. På indersiden af denne barriere findes et tilgroningslandskab, hvor rørsump dominerer. På selve strandvoldene i barrierens ældre dele er et klitlandskab i mindre skala.

2.1 Restaureringsprojektet i Skamlebækken

Følgende afsnit er baseret på den af Odsherred kommune udarbejdede projektskrivelse for restaureringsprojektet ved Skamlebækken.

Selve projektforslaget er udarbejdet i et samarbejde mellem ejerne af Skamlebækvej 4-8 og Odsherred kommune. Forslaget går ud på gravning af et nyt åbent forløb på en delstrækning af Skamlebækken.



Figur 2: Gammelt og nyt løb

Skamlebækkens gamle og planlagte løb kan ses udlignet på ovenstående figur 2, hvor den mørkeblå markering repræsenterer det åbne løb før restaureringen, den røde markering er det rørlagte forløb før restaureringen, og det lyseblå repræsenterer det planlagte samlede frilagte løb. Der vil i forbindelse med forsøg på at stabilisere den nye vandløbsbund blive udlagt grus på hele strækningen. Dette grus vil have en gennemsnitsstørrelse på ca. 8-64 mm.

Vandløbsstrækningen, der ønskes reguleret, omfatter ca. 225 meter, hvoraf de første ca. 75 meter har et lige forløb, mens det følgende stykke på ca. 150 meter er rørlagt. Det nuværende fald er 30 promille over strækningen.

Den planlagte vandløbsstrækning vil få en længde på ca. 300 meter samlet og et slynget forløb.

Arealet ligger i et Natura 2000 beskyttet område, nærmere bestemt EF-habitatområde nr. 244:

Bjergene; Diesbjerg og Bolinge Bakke. Betydningen af områdets Natura 2000 beskyttelse er, at det ikke er tilladt kommunen at udstede tilladelser, der forringer vilkårene for de arter og naturtyper, som er grunden til Natura 2000 beskyttelsen. Dette er i henhold til bestemmelserne i § 7 i bekendtgørelse nr. 408 om udpegning og administration af internationale beskyttelses områder. Kommunen har ud fra ovenstående vurderet, at denne afgørelse ikke indebærer forringelser af naturtypen eller af området som levested. Det vurderes, at der heller ikke er forstyrrelser af betydelig størrelse for arterne, der er grundlaget for beskyttelsen.

De arter og områder, der er grundlag for beskyttelsen, er som følger:

1166:	Stor vandsalamander (<i>Tritus cristatus cristatus</i>)
3150:	Næringsrige søer og vandhuller med flydeplanter eller store vandaks
4030:	Tørre dværgbusksamfund (heder)
6210:	Overdrev og krat på mere eller mindre kalkholdig bund (vigtige orkidèlokaliteter)
6230:	Artsrige overdrev eller græsheder på mere eller mindre sur bund
7230:	Rigkær

Arealet for genopretningen kan muligvis udvikle sig til et område 6210, Overdrev og krat på mere eller mindre kalkholdig bund (vigtige okidèlokaliteter). Den nuværende driftsform bør derfor fortsætte, og arealet bør ikke gødskes og/eller kalkes på nogen måde.

Kommunens generelle vurdering af restaureringsprojektet er, at det vil være positivt for områdets planter og dyr. Det vurderes specielt, at arterne stor vandsalamander og spidssnudet frø vil have gavn af restaureringen.

Netop årsagen til at restaurere Skamlebækken fremgår af følgende tekststykke i den kommunale projektskrivelse:

”Odsherred kommune er i forbindelse med oversvømmelsesproblemer ved Skamlebækvej 8 blevet opmærksom på, at det vil forøge Skamlebækkens naturværdi betydeligt, hvis strækningen nedenfor Skamlebækgård, som er delvist rørlagt, bliver åbnet”

[Reguleringsprojekt Skamlebækken].

Det fremgår heraf, at restaureringsprojektet er kommet i stand pga. oversvømmelsesproblemer for Skamlebækvej 8 - og først senere er det naturmæssige skøn bragt ind over.

Det er på det ovenstående grundlag, at Odsherreds kommune giver dispensation fra naturbeskyttelsesloven § 3 og tilladelse efter planlovens § 35 til gravning af en ny vandløbsstrækning på ca. 300 meter.

2.2 Restaureringens relevans

Ethvert restaureringsprojekt ses som udgangspunkt som en positiv ting for et naturområde. Grunden til dette er den lange tradition med at udrette vandløb og indvinde landbrugsland fra enge, som der har været i Danmark. Ud fra dette betragtes ethvert restaureringsprojekt som positivt, idet man forsøger at vende tilbage til en naturlig tilstand.

Men ethvert projekt, der gennemføres, bør have en relevans, der er til at få øje på. Det skal være begrundet, at der skal bruges offentlige midler på netop dette vandløb og ikke et af de mange andre naturområder, der også kunne bruge midlerne til det ene projekt eller det andet.

Netop projektet med at restaurere et stykke af Skamlebækken har relevans mht. at forbedre sikkerheden for de huse, der ligger tæt ved bækken på det omtalte stykke, Skamlebækvej 4-8, samt et ønske om at opnå en generel forbedring af naturkvaliteten for vandløbet og området på begge sider af vandløbet.

At det er netop disse tre succeskriterier, der er for restaureringen, fremkommer af den kommunale skrivelse om restaureringen. Heri nævnes oversvømmelsesproblemer som hovedårsagen til, at

projektet tages op til overvejelse, herefter nævnes at områdets kvalitet for stor vandsalamander og spidssnudet frø kan forbedres ved en restaurering. Og endeligt er der muligheden for at området efter en restaurering kan opnå bevaringsstatus som et område 6210, nemlig et vigtigt område for orkidéer.

Det er altså disse tre kriterier, der bør undersøges, når det skal vurderes, om projektet har været en succes eller ej. Sikring af husene langs åen, en øget faunamæssig kvalitet i vandløbet, og endelig en øget faunamæssig kvalitet på vandløbets sider. I den kommunale skrivelse lægges der mest vægt på de første to kriterier, og det vil derfor være disse to, der fokuseres på gennem dette projekt.

Selve projektet med restaureringen af Skamlebækken er relevant i opgavesammenhæng, da det er et restaureringsprojekt af overkommelig størrelse, hvor der sker en meget gennemgribende restaurering. I de fleste andre projekter vælges enten en mindre gennemgribende tilgangsform, enten ved at udlægge gydegrus i siderne af vandløbet for på denne måde at få vandløbet til at skabe mæandreringerne naturligt over en længere årrække, eller man benytter beskæringen af åens vegetation til samme formål.

De øvrige projekter, hvor man har foretaget så vidtrækkende ændringer i vandløbets løb, er større vandløb, som fx den restaurering der fandt sted i Skjern å systemet 1999-2001 [Restaurering af Skjern Å].

Alt i alt så er restaureringen af Skamlebækken ud fra den kommunale skrivelse et relevant projekt at benytte offentlige midler til, samt relevant at beskæftige sig med i forbindelse med undersøgelser inden for genoprettelse af vandløb.

3. Teori afsnit

En genopretning af et vandløb er et forsøg på at ændre et unaturligt forløb for at tilnærme forløbet til situationen i et upåvirket vandløbssystem. For at kunne vurdere, hvad der er den naturlige situation, og hvad der er resultatet af menneskelig indgriben, er det nødvendigt at gennemgå en række forskellige fysiske processer i vandløb.

Teorien bag dette gennemgås i dette projekt ved at se på de forskellige processer, der dækker vandløbets form, bundsedimentet i vandløbet, vandhastigheden, faldet i vandløbet og det sediment, der bliver transporteret af vandløbet, altså sedimentet i vandfasen.

3.1 Vandløbets udformning.

Ethvert naturligt vandløb er skabt af et samspil mellem erosion og sedimentation. Oprindeligt vil vandet finde den korteste vej ned gennem landskabet og begynde at erodere sig ned i terrænet. Derved skabes vandløbet. Denne erosion vil foregå kontinuerligt i forbindelse med vandtransporten. Ud over denne nedbrydende proces, så foregår der også en tilstrømning af materiale fra oplandet og fra opstrøms i vandløbet. Sedimentationen foregår, når vandet flyder i brede stykker i vandløbet eller i slyngninger, hvor vandløbet mister fart og dermed får mindsket sin evne til at transportere materiale. Når vandløbets hastighed sænkes vil det tungeste materiale, der ikke længere kan transporteres, falde til bunds og blive en del af bundsedimentet, indtil det igen kommer i bevægelse. Dette sker enten som følge af en øget vandtransport eller som følge af vandløbets ændring i form. Dette kan have det resultat, at det sted, sedimentet ligger i vandløbet, bliver udsat for kraftigere strømhastighed.

Andre faktorer, der spiller ind på erosionen i vandløbet, er vegetation, der vil holde sammen på bund og brinker og derved stabilisere vandløbet, og kampesten eller store træstykker, der vil resultere i ændringer i erosionen. Denne ændring foregår ved, at vandstrømmen presses sammen på siderne af objektet, hvorved vandhastigheden stiger, og erosionen på disse steder øges. Efter objektet vil vandet strømme ind fra begge sider for at udfylde det rum, som objektet før fyldte. Dette skaber turbulens i vandstrømningen med følgende tab af hastighed. Som resultat af dette vil der være sedimentering efter objektet. Kort sagt er der altså erosion på siderne af store objekter i

vandløbet grundet øget vandhastighed, og sedimentering bag ved objekterne grundet turbulens og lavere vandhastighed [Allan og Castillo, 2007].

Et vandløb er generelt set bare den transportvej, vandet vælger fra punkt A til punkt B. Denne bevægelse vil fortsætte, indtil vandløbet når et punkt, hvor der ikke længere er potentiel energi nok i vandet til at fortsætte transporten, dvs. at faldet er nul eller tæt på nul. Dette punkt kaldes for "base level" og der findes både lokale "base levels" som søer, og globale "base levels" som havet. Som hovedregel siges det, at vandløb ikke eroderer lavere end "base level" [Skinner et al, 2004].

3.1.1 Vandløbets form:

Et vandløbs form afhænger af tre hovedfaktorer. Dette er blandt andet det område, hvorigennem vandløbet løber. Her er tale om den geologiske baggrund for området, den klippe eller jordoverflade som vandløbet passerer. En anden afgørende faktor er den mængde vand, der er i området, og dermed hvor meget der løber i vandløbet. Eksempler på dette kan være store mængder nedbør i regnskove eller mange af de grundvandsfødte vandløb, som vi blandt andet har i Danmark. Et andet eksempel på væde til vandløb er de løb, der får deres vand fra enten gletchere eller sneen på toppen af fjelde eller bjerge. Den sidste overordnede kraft, der har indflydelse på vandløbets form globalt set, er den hældning, som vandløbet har. Jo stejlere et vandløb er, jo mere eroderer det sig ned i grundlaget, og jo mindre vil det naturligt mæandre. Hvis man ser på et vandløb rent lokalt, er det muligt at specificere disse faktorer. Derved bliver det følgende faktorer; brinkernes stabilitet, altså geologien, typen af sediment i bunden af vandløbet, igen et aspekt af geologien, og endeligt vandløbets strømningshastighed, der er et resultat af mængden af vand i vandløbet og vandløbets hældningsgrad [Skinner et al, 2004].

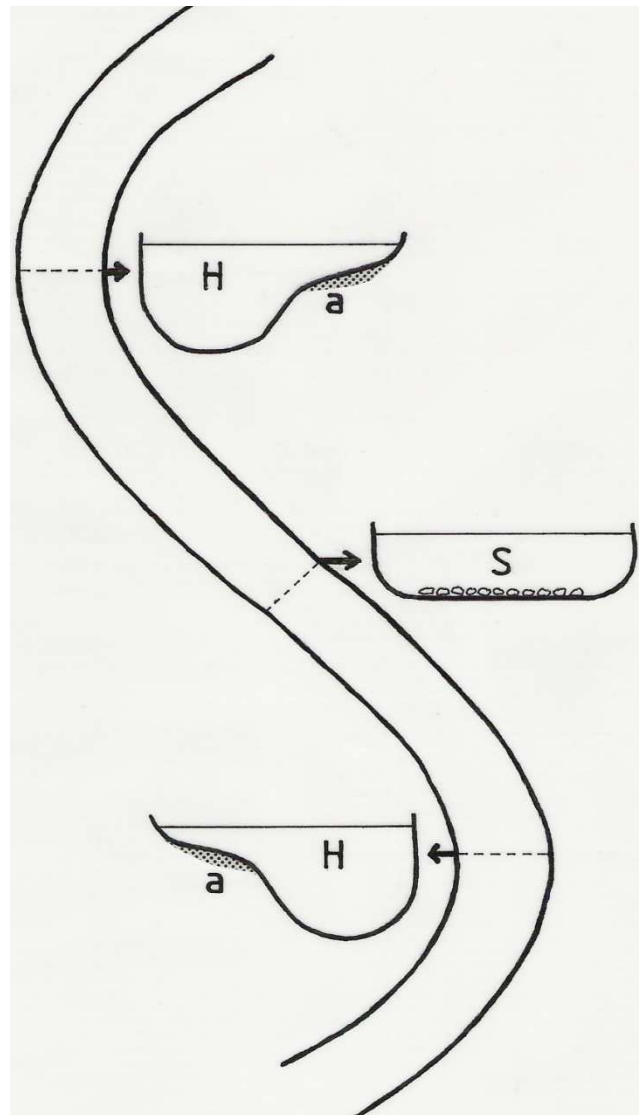
Hver enkelt vandløb har sine egne karakteristika, og der er stor variation fra vandløb til vandløb. På trods af dette inddeles vandløb i flere forskellige kategorier for at gøre sammenligning af vandløbene muligt [Skinner et al, 2004]. I forbindelse med dette projekt er der to af typerne, der har betydning. Nemlig det lige vandløb og det slyngede vandløb. Grunden til, at netop disse to former er relevante frem for fx det flettede vandløb, er at Skamlebækken før restaureringen kan betegnes som et lige vandløb, og at der er tale om et slynget vandløb efter restaureringen. Derfor vil jeg starte med at gennemgå det lige vandløb og derefter tage det slyngede. Da de andre typer som nævnt ikke er relevante for netop dette projekt, vil disse blive udeladt for at sikre, at teoriafsnittet holder sig til den røde tråd i projektet.

3.1.2 Det lige vandløb:

Det lige vandløb er stort set altid et resultat af menneskelig påvirkning. De eneste steder, hvor de findes i naturen, er på meget stejle skrånninger, hvor vandets hastighed naturligt er så høj, at det ikke tillader vandet at mæandre, som det ville gøre, hvis forholdene var til det. [Skinner et al, 2004].

I de mere naturlige lige vandløb vil man også opleve den inddeling af vandløbstrækningen i høl og stryg, som det ses i fx slyngede vandløb. I meget stejle vandløb har disse karakter af små vandfald med stillestående vand i mellem (på engelsk kaldes disse for "step-pool" sekvenser). Dette giver aflejring af sediment som i andre situationer, dog i mindre grad idet vandet i et lige vandløb ofte vil opretholde vandhastigheden mere end i slyngede vandløb. Til gengæld fjernes meget af det fine materiale, og de lige vandløb fremstår ofte som grovkornede på bunden [Skinner et al, 2004].

Selve høl og stryg dannes som følge af mæandreringen i vandløbet. Denne variation resulterer også i at vandløbets tværsnitsprofil varierer fra dybt og smalt til lavt og bredt. Det kan ydermere nævnes, at høl og stryg dannelse skal ses som resultat af mæandrering, men også sedimentation af sediment med forskellige kornstørrelser [Allan og Castillo, 2007].



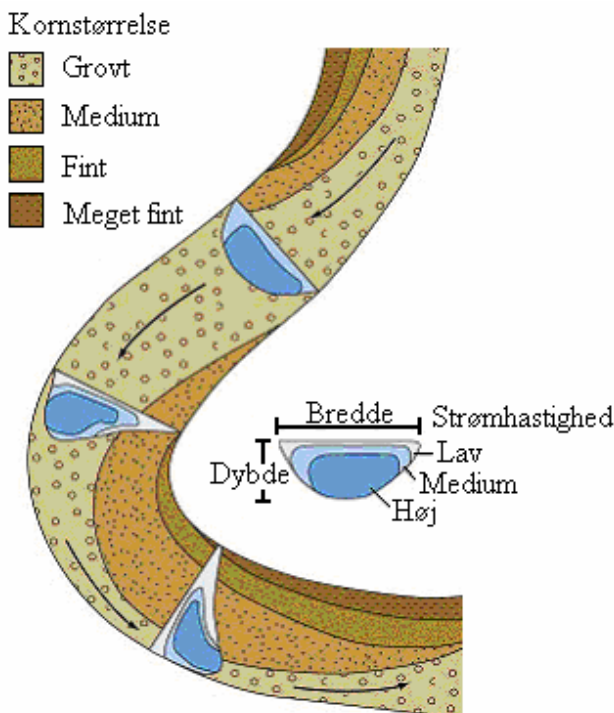
Figur 3: Mæandreringslængde

3.1.3 Det slyngede vandløb:

Det slyngede vandløb er det, som naturligt vil opstå i et vandløb, der ikke bliver påvirket af menneskelig indgriben. Hver enkelt slyngning kaldes en mæanderbue, en mæandrering, og i et slynget vandløb vil en mæandreringenslængde se ud som figur 3. Som det fremgår af figuren vil hver mæandrering bestå af Høl, H på figuren, og Stryg, S på figuren.

I strygene vil der være en konstant høj hastighed og lav dybde. Bundsedimentet vil derfor bestå af store sedimenttyper, som grus og sten, idet den høje vandhastighed har båret sedimentet med mindre kornstørrelser væk.

I høllene vil der på den side, der vender ud af cirklen være erosion i vandløbets kant, grundet slyngningen, der tvinger vandet op mod kanten, og det at vandets hastighed øges her. På den side af vandløbet, der vender ind mod cirklen, vil vandets hastighed falde, og der vil opstå aflejring af sediment, a på figuren. Hvis denne udvikling fortsætter, vil vandløbet blive mere og mere slynget. I ydersiden af mæanderbuen eroderes materiale; det fine materiale føres med strømmen, mens det lidt grovere bliver liggende i mæanderbuen og fjernes ved højere vandføringer. På indersiden af mæanderbuen aflejres det fine materiale, der kommer opstrøms fra. Dette er vist på figur 4 herunder. [Skinner et al, 2004]



Figur 4: Aflejring og erosion i mæanderbue [Skinner et al, 2004] side 367 figur 14.18.

Denne udvikling vil fortsætte, indtil slyngningen kommer til at ligne en hestesko, hvor de to ender er meget tæt på hinanden. På et tidspunkt vil enderne bryde igennem det mellemliggende materiale og snøre slyngningen af. Der dannes derved en hesteskoformet sø, mens selve vandtransporten i vandløbet fortsætter i det nye løb [Skinner et al, 2004].

Tilførslen af sediment fra oplandet og transporten af sedimentet i vandløbet er som nævnt tidligere en vigtig faktor for et vandløbs tilstand. Dette har nemlig stor indflydelse på den dynamik og de habitatforhold, der er gældende i vandløbet, og dermed den økologiske kvalitet i vandløbet.

Vandløbet vil automatisk, hvis det kan udvikle sig uden indgriben, bevæge sig mod en dynamisk ligevægt mellem tilførsel af sediment og vand. Dette afgør erosionen og sedimenteringen. Disse to faktorer tilsammen afgør så, om vandløbet er i balance og følger den naturlige model for, hvordan et vandløb formes - eller om det afviger fra denne [Allan og Castillo, 2007].

En anden ting, der spiller ind på et vandløbs form, er mængden af vegetation på brinkerne.

Vegetationen holder sammen på brinkerne og nedsætter den mængde sediment, som tilføres vandløbet fra denne kant. Men der er forskel på effekten af forskellige typer vegetation.

Heldækkende flerårige planter, som fx græs, er mere effektive end træer og enårige planter. Dette skyldes, at græsset lægger sig som et lag over jorden og holder det sammen, mens fx træers rødder typisk vil lade sedimentet imellem rødderne blive transporteret væk. Et eksempel på, hvordan denne forskel i brinkvegetationen kan påvirke et vandløbs form er, at vandløb, der løber gennem græsmarker ofte er smalle og dybe. Her er brinkerosionen begrænset grundet græsdækket. Modsat er vandløb, der løber gennem skove, ofte bredde og lave. Brinkerosionen er her mere udbredt, idet vandet blot eroderer uden om træernes rødder [Allan og Castillo, 2007].

3.2 Vandløbets afstrømning

Tilstrømningen af vand til vandløbet sker som følge af hydrologiske, geologiske og geomorfologiske processer. Øvrige aspekter, der spiller ind på tilstrømningen, er områdets vegetation og topografi. Disse faktorerers sammenspil har som resultat, at vandet i vandløbet fordeles forskelligt over tid. Netop denne bevægelse af vand gennem vandløbet, der måles i vand enhed pr. tidsenhed, defineres som vandløbes vandføring.

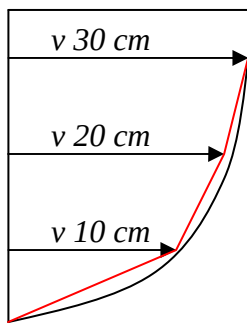
Sammen med mæandring og vandløbets bundsediment, beskrevet tidligere, så er det gennemstrømningen af vand, der afgør vandløbets fysiske struktur. Mæandringen vil sænke vandets hastighed og dermed sænke den samlede afstrømning, idet vandet opholder sig længere tid i

vandløbet og de våde områder på begge sider af vandløbet. Forskellige former for bundsediment har den indflydelse, at de sænker vandets hastighed i forskellig grad. Denne effekt vil være større i mindre brede vandløb med lav vandstand, idet en større mængde af vandet kommer i kontakt med bundsedimentet og siderne. I større vandløb med en større vandføring vil andelen af vand, der kommer i kontakt med siderne være mindre set i forhold til den samlede transporterede mængde. På dette område spiller eventuel vegetation også ind, idet vandplanter vil sænke vandhastigheden betydeligt. Ydermere så har vandløbets fald også en indflydelse på vandstrømningen i vandløbet. Jo større fald, jo mere potentiel energi har vandet og dermed større fart og evne til at transportere sediment. Og netop evnen til at transportere sediment er en af de mest betydningsfulde faktorer for et vandløbs fysiske struktur og udvikling.

Vandløbs evne til at transportere vand væk fra et område hurtigt har været fokus for de fleste af de menneskelige ændringer ved vandløb. Mennesket har forsøgt at øge gennemstrømningen af vand ved at fjerne mæandringer og øge faldet. Begge tiltag er gjort for at hæve vandets fart i vandløbet, sænke vandspejlet og dermed fjerne det fra eventuelle marker, så de kan bruges til landbrug [Madsen og Gregersen, 1998].

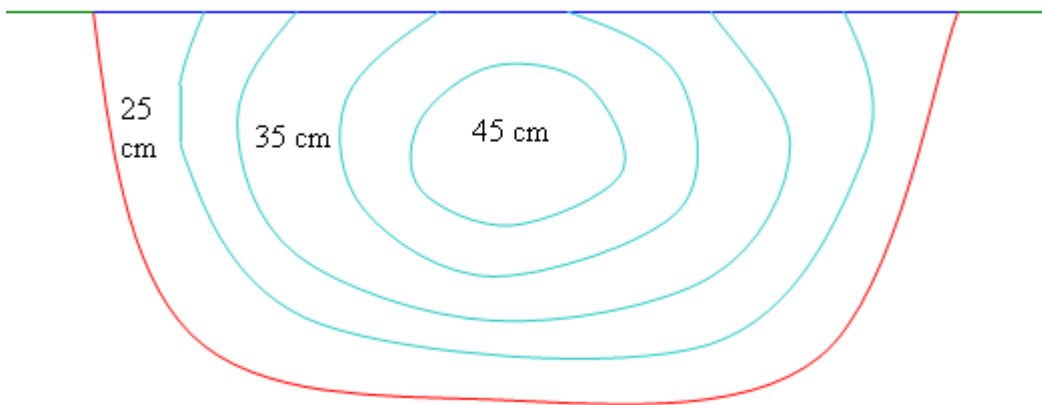
3.3 Strømhastigheden

Som nævnt tidligere, så vil strømhastigheden i et vandløb variere i et profilsnit på tværs af vandløbet. Der er nemlig forskellige strømforhold for vandet forskellige steder i tværsnittet. Fx så vil vand, der bevæger sig i bunden af vandløbet, bevæge sig langsommere end vand, der befinder sig i overfladen og i midten af vandsøjlen. Dette skyldes den modstand, som vandet får fra bunden, eller for den sags skyld siderne i vandløbet. En anden kilde til modstand for vandet er eventuelle genstande i vandløbet. Store ting som fx sten og grene vil skabe turbulens i vandløbet og ændre vandstrømningen både til siderne, hvor vandet presses ind på mindre plads og hastigheden øges, og bagved hvor der vil opstå hvirvler, når vandet udvider sig igen for at fylde området bag stenen. Generelt set vil vandet bevæge sig hurtigere i midten og toppen af vandløbet, og langsommere i bunden. Dette illustreres med nedenstående figur 5 af et fiktivt vandløb hvor længden af vektorerne angiver vandstrømmens hastighed.



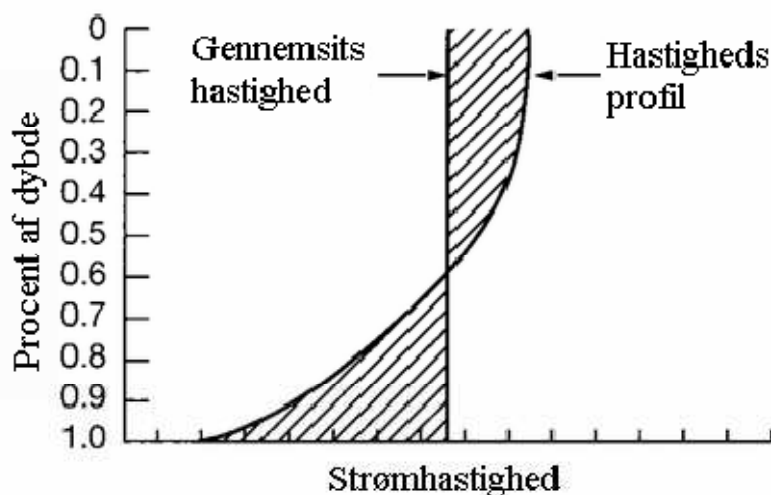
Figur 5: vandhastigheden i snit

Lignende vil det se ud for et tværsnit af vandløbet, hvor pilene vil være størst i midten og aftage ud mod siderne. Dette er vist på nedenstående figur 6. De lyseblå linier viser hvordan vandets hastighed aftager fra midten og ud mod de forskellige sider af vandløbet. Den røde linie viser vandløbets våde perimeter, altså bunden, mens den mørkeblå linie angiver vandløbets overflade, og der hvor den går over i grøn angiver brinkernes placering.



Figur 6: Strømhastighedens aftagen i vandløb (egen tegning)

Udvikling som er vist på figur 6 er generelt gældende for steder i vandløbet, hvor der ikke er forstyrrelser i vandsøjlen, som fx grene eller sten. Det er derfor muligt at opstille en model for, hvordan strømhastigheden vil udvikle sig i vandsøjlen sådanne steder. Dette er illustreret med nedenstående figur 7 fra [Allan og Castillo, 2007].



Figur 7: Hastighed i upåvirket vandsøjle. [Allan og Castillo, 2007]

Her ses det, at vandhastigheden stiger efterhånden som man kommer op gennem vandsøjlen indtil et maksimum nås 10-20 % under overfladen. Ud fra denne model kan det også afgøres, at gennemsnithastigheden i et vandløb vil være at måle omkring 60 % af dybden under overfladen. Som nævnt tidligere så er dette dog kun gældende for steder i vandløbet, hvor vandsøjlen er uforstyrret ud over kontakten med brinker, bund og overfladen. Men i tilfælde af at man har et uforstyrret vandløb, så kan denne model benyttes til at bestemme, hvor det vil være fornuftigt at anbringe sine målinger. En måling ved 60 % af dybden vil være det mest fornuftige og også det, der benyttes i mindre vandløb, hvor flere målinger ikke er muligt grundet dybden. Men i den optimale situation bør der også tages målinger i 20 % af dybden og i 80 % af dybden for at dække ændringerne i hastighed så godt som muligt. Generelt kan det siges, at selvom en model kan forudsige virkeligheden, så er der en mængde påvirkninger i et virkeligt vandløb, fx vegetation, objekter i vandløbet eller vindmodstand på overfladen, der gør at man bør tage så mange målinger som muligt for at skabe det bedst mulige billede af strømforholdene. [Gordon et al, 1994].

Netop de varierende afstrømningshastigheder gør, at der i vandløb er levevilkår for forskellige arter, som fx ikke er tilpasset de mere stabile strømningsforhold, der er i søer. Det gør også at mange forskellige arter kan leve i et vandløb, idet forskellige arter foretrækker forskellige strømningsforhold. Et andet plus ved de forskellige strømhastigheder er, at bundsedimentet i vandløbet varierer fra sted til sted. Og igen er der forskellige arter, der foretrækker forskellige bundsediment typer [Madsen og Gregersen, 1998].

3.4 Sediment

Sediment er en betegnelse for løst materiale, som fremkommer ved nedbrydning af bjergarter under påvirkning af vejr og vind [Galsgaard 2000]. Det materiale, som er sediment i de danske vandløb, har dog været igennem en længere transport, siden de var en del af et bjergmassiv. I de fleste områder i Danmark er sedimentet deponeret af den sidste istids gletsjeres bevægelse hen over landet og den efterfølgende tilbagetrækning, der efterlod sedimentet, som det landskab vi kender i dag. Der kan også være tale om sediment af organisk oprindelse. Dette er ofte resultat af biologisk aktivitet i selve vandløbet, autochont organisk materiale, eller i vandløbets opland, allochont organisk materiale. Netop størrelsen af sedimentet og oprindelsen har betydning både for transporthastigheden og for hvor hurtigt det organiske stof bliver omsat i vandløbet [Sand-Jensen og Lindegaard, 1996]

Sediment er defineret ved, at det er stof, der er under transport på den ene eller den anden måde. Transporten af sediment foregår enten ved vind, vand eller is. Eksempler på denne transport kunne enten være en sandstorm eller en gletcher. I tilfældet med dette projekt er det dog mere nærliggende at nævne overflade afstrømning og sediment transport i selve vandløbet. Selve forudsætningen for at der sker sedimenttransport er, at der er energi nok i mediet til at løfte partiklen og flytte det [Galsgaard 2000].

Netop transporten i vand foregår på tre forskellige måder alt afhængigt af den mængde kinetisk energi, der er til rådighed i vandløbet til transport af partiklen. Her vil partiklens vægt selvfølgelig også spille ind på, hvornår den enkelte form for transport finder sted. [Galsgaard 2000].

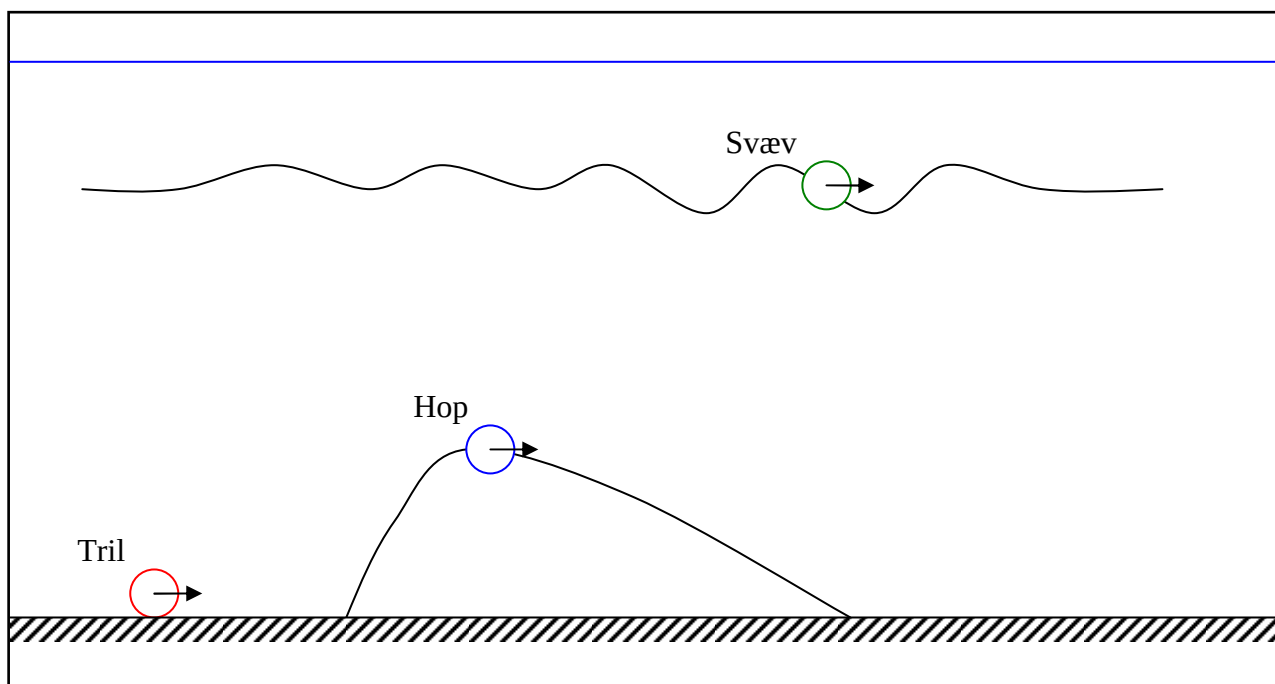
De 3 forskellige transportformer er som følger:

Svæv: De mindste korn og partikler vil blive hængende i strømmen i suspenderet tilstand.

Hop: De lidt større sedimentkorn vil bevæge sig hen over bunden i hop.

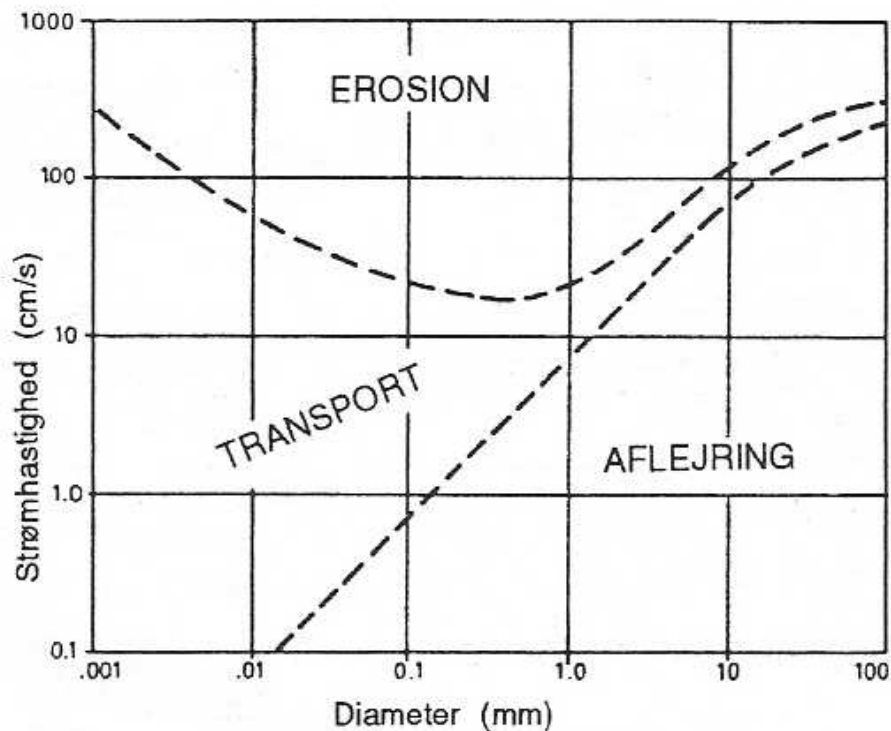
Tril: De største korn, vandløbet kan transportere, vil trille hen over bunden af vandløbet.

Disse tre forskellige transport måder er illustreret på nedenstående figur 8.



Figur 8: Sediment bevægelse i vand, afhængigt af vægt og kinetisk energi (egen tegning)

I vandløbet kan vandstrømmen opføre sig enten laminært eller turbulent. Den laminare strømningsform opleves kun under lave strømhastigheder, mens den turbulente er udtryk for højere energi niveau i vandet. I tilfælde af at et partikelkorn skal holdes i svæv, er det nødvendigt, at strømningen er turbulent. I tilfælde af at et partikelkorn kommer ind i en laminar strømning vil det, hvis kornet er kugleformet, miste hastighed og synke ned mod vandløbets bund [Galsgaard, 2000]. Som nævnt så har energien i strømmen stor betydning for, hvordan det enkelte sedimentkorn vil blive påvirket af vandstrømmen. Nedenstående figur 9 kaldes Hjulströms diagram og viser sammenhængen mellem strømhastigheden og sediment kornets diameter. Diagrammet viser, hvilken påvirkning strømmen vil have på det enkelte korn i sedimentet. Her er der tre mulige påvirkninger. Nemlig erosion, transport eller aflejring.



Figur 9: Hjulstrøms diagram

Som det fremgår af figuren, så vil store hastigheder medføre erosion, mindre hastigheder kombineret med små korn resultere i transport, og større korn, eller aftagende kinetisk energi i vandløbet, resultere i aflejring.

Som det fremgår af ovenstående diagram, så er strømhastigheden en afgørende faktor for, om der forekommer erosion, transport eller aflejring af sediment de forskellige steder i vandløbet. Netop det at der er tale om mange forskellige strømhastigheder i et vandløb, gør at alle tre former finder sted på samme tid. Der vil altså foregå erosion i den ene side af vandløbet, mens der på den anden side vil være aflejring, og midten vil være repræsenteret med transport af materiale. Som nævnt tidligere i afsnittet opstår der friktion mellem vandet og siderne af vandløbet og bunden. Yderligere vil der også opstå en mindre friktion med atmosfæren umiddelbart over vandløbet, dette vil sænke hastigheden i toppen af vandsøjlen. [Sand-Jensen et al, 1991].

Som nævnt tidligere og illustreret med figur 6, så varierer strømhastigheden i vandløbet ud mod siderne. Der er altså en række forskellige vandhastigheder, der skal tages højde for, hvis den samlede strømhastighed skal findes. Middelstrømhastigheden kan udregnes ved hjælp af følgende empiriske formel.

$$v = \frac{1}{n} \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot I_0^{\frac{1}{2}}$$

I formelen er v middelstrømhastigheden i cm/sek, n er en konstant, der afhænger af ruheden af sedimentet i vandløbets bund. Dette bestemmer videre friktionsgraden - $\frac{1}{n}$ også kaldet Manning tallet, M . R er den hydrauliske radius og I_0 er faldet i vandløbet [Sand-Jensen, et al., 1991]. Den hydrauliske radius er givet som: $R = \frac{A}{P}$, hvor P er den våde perimeter og A er tværsnitsarealet.

I tilfælde af at vandløbet mæandrerer, vil der opstå forskellige strømhastigheder i de enkelte slyngninger. Dette vil blandt andet, som nævnt tidligere i dette afsnit, medføre opbremsning på indersiden og ydersiden af buen. Men idet hastigheden på indersiden af svinget er mindre end på ydersiden til at starte med, så vil der blive afsat mere energi i ydersiden af svinget end i indersiden, der har mindre kinetisk energi at afsætte. Dette er blandt andet det, der resulterer i den tidligere beskrevne erosion på ydersiden af vandløbet.

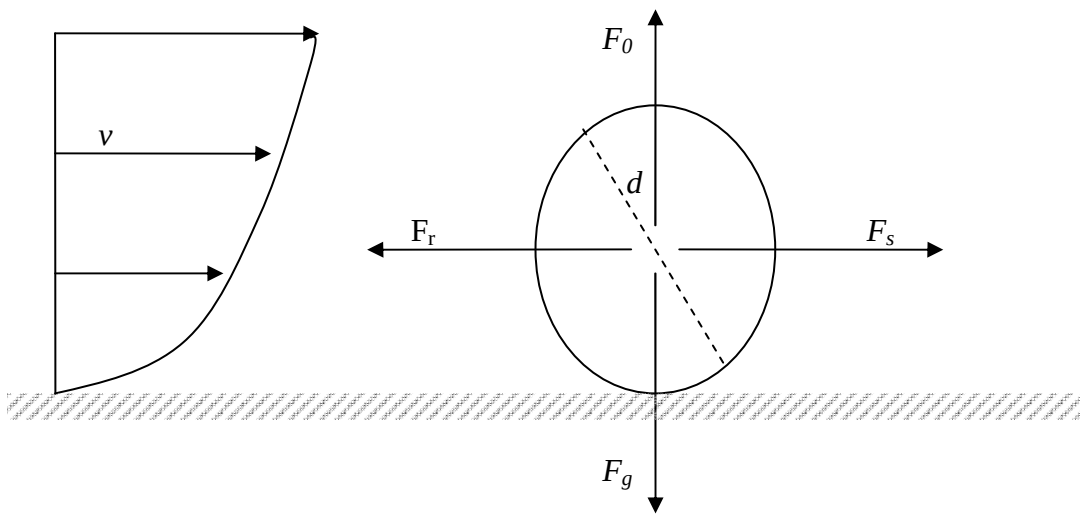
3.5 Shields parameter

Den sedimenttransport, der foregår i et vandløb, er resultatet af strømmens påvirkning af sedimentkornene på bunden af vandløbet. I forbindelse med restaureringen i Skamlebækken er det muligt, at strømhastigheden vil ændres. For at kunne sige, hvad dette vil gøre for sediment transporten, er det nødvendigt at inddrage Shields parameter. Denne parameter gør det nemlig muligt at bestemme kritiske hastigheder for forskellige sedimenttyper og størrelser. Ved at bestemme Shields parameter for et vandløb og dets sediment er det nemlig muligt at fastslå, om der i det ændrede vandløb kommer til at opstå en kraftig sediment transport af det eksisterende sediment. Shields parameter opererer også med en kritisk størrelse. Hvis den kritiske størrelse af Shields parameter er overskredet, vil der nemlig opstå kraftig sediment transport. Og da kraftig sedimenttransport af det eksisterende bundsediment skaber et vandløb ude af balance, er dette ikke ønskværdigt.

Et vilkårligt sedimentkorn liggende på bunden af et vandløb vil være udsat for flere forskellige kræfter. Disse kræfter vil nu blive gennemgået for at skabe et overblik over, hvilke processer der skal ske, før sediment transport finder sted. I følgende eksempel er sediment kornet tænkt liggende

på en plan overflade.

Strømhastigheden v , påvirker sedimentkornet med diameteren, d , der ydermere påvirkes af tyngdekraften, F_g , den naturlige opdrift i vand, F_o , friktionskraften i vandløbet, F_v , der er den modstand, som sedimentkornet yder mod bevægelsen hen over bunden. Og endeligt er der en skubbekraft, F_s , der repræsenterer den kraft, som strømhastigheden yder på sedimentkornet. Idet kornet antages at ligge stille, må alle kræfterne være lige store. Dette er vist på figur 10 herunder.



Figur 10: De kræfter der påvirker et sedimentkorn (egen tegning efter Liu 2001)

Shields parameter er et udtryk, der dækker forholdet mellem disse fire kræfters påvirkning af kornet. Parameteren tager ikke højde for, at kornet i vandløbet vil blive udsat for kraftig påvirkning fra de øvrige sedimentkorn i vandløbsbunden. Den påvirkning, som der ses bort fra, er blandt andet en læ effekt fra andre korn eller virkning som kiler mellem sedimentkorn, så der opnås en større sammenhængskraft.

Shields parameter er efter de nævnte forbehold givet:

$$\theta = \frac{u^2}{(S-1) \cdot g \cdot d}$$

Hvor u er friktionshastigheden, S er den relative densitet for kornet, kornets densitet over vands densitet, g er tyngdeaccelerationen, ($9,82 \text{ m/s}^2$) og d er kornets diameter. Som nævnt i forbeholdet, så gælder Shields parameter kun for ikke kohesive sedimenter, dvs. der tages forbehold for eventuelle lerpartikler og organisk materiale, der virker som bindemateriale og holder sedimentet sammen.

For at bestemme om et sedimentkorn bevæger sig, er det nødvendigt at tage et kig på friktionshastigheden, u , idet det er denne størrelse, der kan ændres i forbindelse med øget eller mindsket strømhastighed som resultat af eventuelle ændringer i vandstrømningen som følge af restaureringen. Det skal dog også nævnes, at for Skamlebækkens vedkommende så er hele bundsedimentet udskiftet, så der vil være flere ukendte størrelser, også S og d , end hvis der blot var tale om en undersøgelse af en ændret strømhastighed i et stabilt vandløb.

I forbindelse med transport af sediment er den kritiske størrelse dog stadig friktionshastigheden, idet de to øvrige størrelser er konstanter efter restaureringen.

Dette kaldes den kritiske Shields parameter efter [Liu, 2001] og benævnes θ_k . Denne størrelse angiver det punkt, hvor friktionshastigheden er præcist stor nok til at sætte sedimentkornet i bevægelse. Selve friktionshastigheden er givet ud fra bundskydningsspændingen, τ_b , der angiver den spænding, som vandstrømmen har med vandløbets bund. Denne størrelse er givet ud fra formelen: $\tau_b = \rho_f \cdot g \cdot R \cdot I_0$, hvor ρ_f er vandets densitet, g igen repræsenterer tyngdeacceleration på $9,82 \text{ m/s}^2$, R er den hydrauliske radius for vandløbet (Den våde perimeter delt med tværsnitsarealet i vandløbet) og I_0 er vandløbets hældning. I lave vandløb, som fx Skamlebækken, kan R erstattes af h , der står for vanddybden.

Selve friktionshastigheden er givet ud fra formelen: $u = \sqrt{\frac{\tau_b}{\rho_f}}$

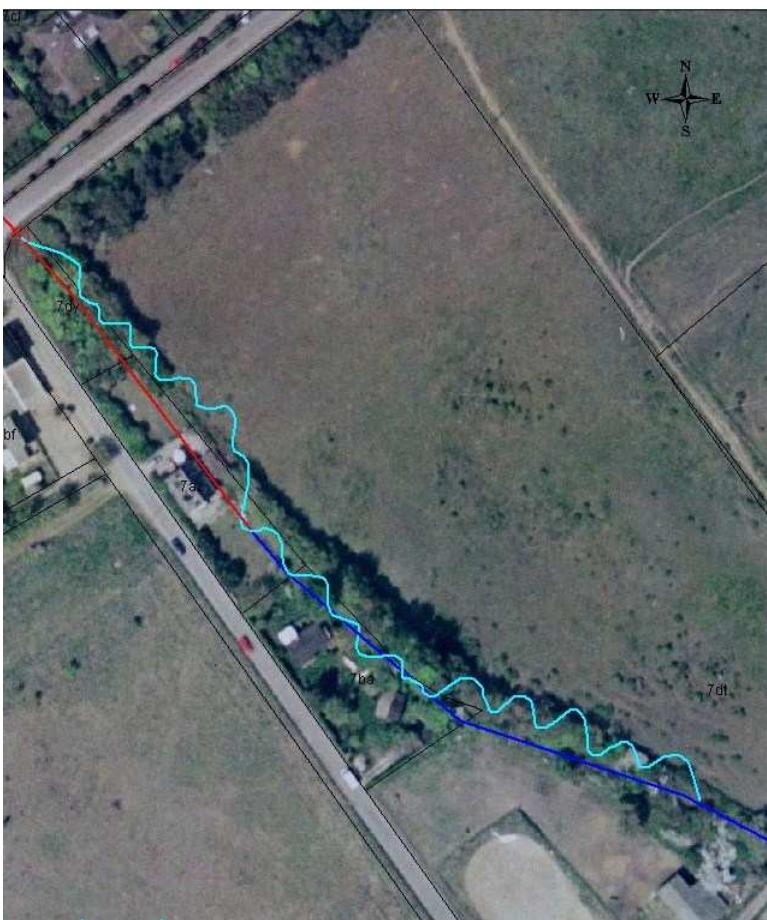
Ved at indsætte dette udtryk i Shields parameter er det muligt at lave følgende omskrivninger.

$$\theta = \frac{\frac{\tau_b}{\rho_f}}{(\rho_s - \rho_f) \cdot g \cdot d} = \frac{\tau_b}{(\rho_s - \rho_f) \cdot g \cdot d}$$

Og ovenstående formel kan bruges til at bestemme den kritiske strømhastighed og dermed vandføring for, hvornår sedimentet i vandløbets bund begynder at transporteres. Det er dermed muligt at vurdere vandløbets stabilitet før og efter restaureringen.

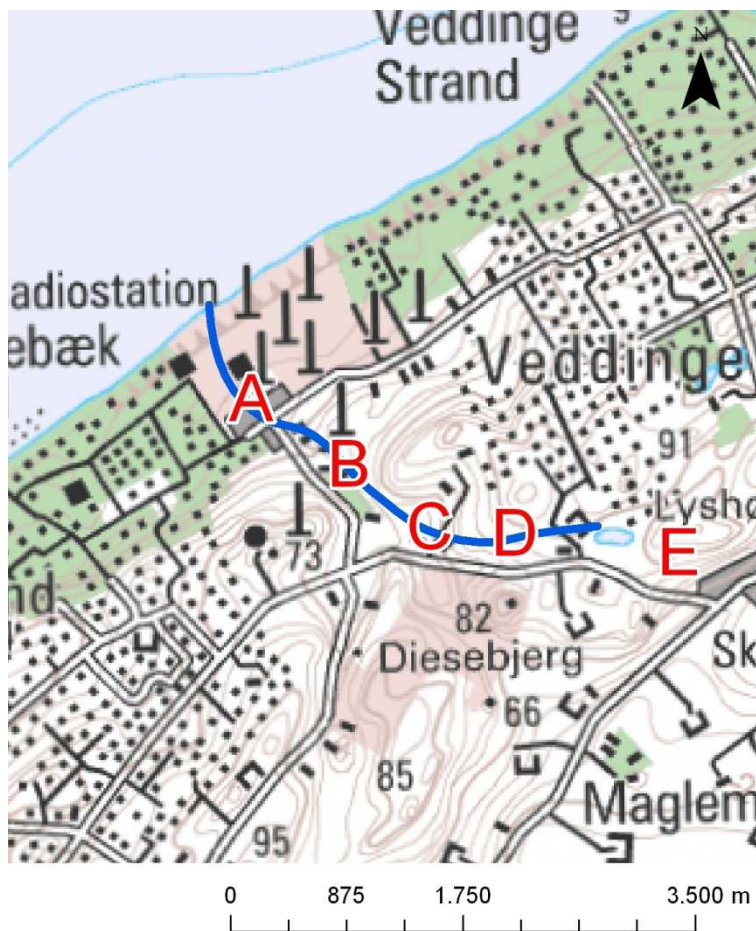
4. Metode Afsnit

Nedenstående figur 11 viser området, hvor restaureringsprojektet af Skamlebækken finder sted. På kortet er både angivet Skamlebækkens løb før restaureringen samt det nye løb, som er skabt af restaureringen. Kortet er fra før restaureringen og viser det oprindelige løb som henholdsvis det mørkeblå stykke, kanal, og det røde stykke, lagt i rør. Det lyseblå stykke viser det nye løb, som det ser ud efter restaureringen.



Figur 11: projektområde, før restaurering.

Nedenstående kort, figur 12, viser placeringen af de forskellige tværsnitsprofiler samt målestationer der har været brugt igennem projektet. Området på figuren er det samme som der ses på figur 1 over området, bare fokuseret ind på det relevante område.



Figur 12: Placering af målepunkter og tværsnitsprofiler

De enkelte punkter er som beskrevet i nedenstående tabel.

Punkt A	Vandstandsmåling, Vandføringsmåling og Suspenderet stof måling
Punkt B	Tværsnitsprofil 1
Punkt C	Tværsnitsprofil 2
Punkt D	Tværsnitsprofil 3
Punkt E	Tværsnitsprofil Reference

4.1 Vandstandsmålinger med tryktransducer

For at bestemme vandstandsvariationen og variationen i vandføringen i undersøgelsesperioden foretages målinger af vandstanden i bækken neden for det område, der dækker

restaureringsprojektet. Selve målingerne foretages med en tryktransducer, som er en logger, der måler trykket over dens placering. Ved at tage dette tryk og sammenligne med lufttrykket på det tidspunkt målingen er foretaget, så er det muligt at bestemme den samlede vandsøjle over loggeren, og dermed den samlede vanddybde i vandløbet ved målestationen. I denne undersøgelse er der brugt en tryktransducer af mærket "Onset". Selve tryktransduceren er vist på nedenstående figur 13.



Figur 13: Onset tryktransducer (billede fra producentens hjemmeside)

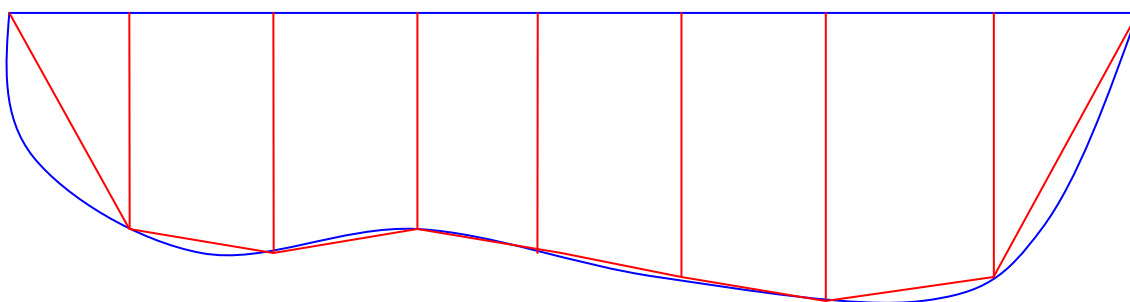
Vandstandsmålestationen er opsat ved en lille bro over Skamlebækken på området tæt ved Skamlebæk radio, tryktransduceren er placeret i et rør for ikke at forstyrre målingerne. Placeringen af målestationen ses på kortet over området. Det skal bemærkes at denne station er placeret samme sted som isco-prøvetageren er, og den præcise placering fremgår også af figur 12.

Loggeren i tryktransduceren er indstillet til at foretage dataindsamling hvert 15. minut kontinuerligt. Den vandstandskurve, der opnås som resultat af denne dataindsamling, viser vandstanden siden opsættelsen af loggeren omkring middag den 2. oktober, 2008 og hvert 15. minut siden. Det er altså en datarække, der strækker sig fra før selve projektperiodens gravearbejde starter, gennem restaureringsprojektet og videre tre måneder efter projektets afslutning. Det er altså muligt at følge udviklingen både før, under og i den fase efter, hvor vandløbets morfologi stabiliseres.

4.2 Vandføringsmålinger

For at fastlægge vandføringen laves en måleprofil, hvor det ønskes at finde vandføringen. I dette projekt er tværsnitsprofilet udvalgt ved stationen med tryktransducere.

Et tværsnitsprofil ser ud som nedenstående figur 14, hvor det blå viser vandløbets våde perimeter, mens det røde område viser tværsnitprofilens opdeling i beregnelige former, trekanter og trapezer. Figuren herunder viser ikke tværsnitsprofilens form for Skamlebækken, men er en afbildning af et skematisk vandløb.



Figur 14: tværsnitsprofil af vandløb

For at kunne beregne vandføringen er det nødvendigt at kende vandløbets tværsnitsprofils areal så godt som muligt. Dette opnås ved at opdele det målte område i trekanter og trapezer. Det er derefter muligt at beregne arealet ved at benytte følgende plangeometriske beregning. For at finde den våde perimeter benyttes Pythagoras

Pythagoras: $c^2 = a^2 + b^2$ hvor a og b er de kendte kateter, mens c er hypotenusen som udgør segmentet af våd parameter.

Trekants areal: $A = \frac{1}{2} * a * b$, hvor A er arealet af trekanten.

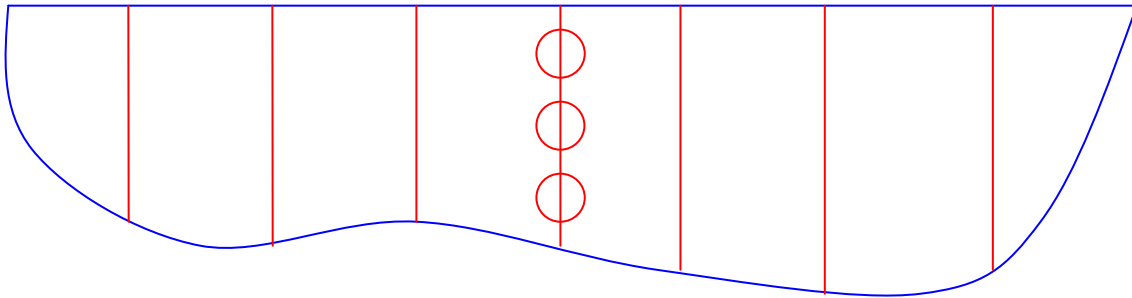
Trapez areal: $A = \frac{1}{2} * h * (a + b)$, hvor h er højden af trapezen.

Ved hjælp af ovenstående formler er det muligt at bestemme arealet af tværsnitsprofilet præcist.

Som det fremgår af figur 14, så vil der være små områder af vandløbets våde periferi, der ikke tages med. Men det resultat, der opnås, er en fornuftig tilnærmelse, der giver et relativt præcist billede på virkeligheden, når blot dybden måles tilstrækkeligt mange steder.

Vandhastigheden måles med en lille propel. I praksis måles antallet af omdrejninger pr. 30 sekund i hvert målepunkt og kan efterfølgende ved hjælp af den for propellen kendte formel, omregnes til en

vandhastighed. Til disse målinger er anvendt en propel af mærket OTT Kleinflügel, $\varnothing = 3\text{ eh}$. Grunden til, at den enkelte propel er så vigtig for målingens præcision, er, at hver enkelt propel er kalibreret og har en bestemt formel, der kun gælder for netop denne propel.



Figur 15: Tværsnitsprofil med målinger

For at sikre, at man får et præcist udtryk for vandføringen i tværsnittet, er det vigtigt, at vandstrømsmålinger fordeles, så alle lag i vandløbets regnes med. Ovenstående figur 15 viser fx den måde hvor man med tre målinger kan dække en enkelt linje ned i vandløbet. De røde cirkler i midten af figuren repræsenterer stederne, hvor propellen sænkes ned for at sikre sig, at man får de hastighedsudsving med, der er, jo dybere man kommer ned i vandløbet. Det skal dog nævnes, at dybden i Skamlebækken er relativt lav, og at der derfor kun blev foretaget målinger 2 cm over bunden og 2 cm under overfladen. Den ringe dybde tillod ikke flere målinger, selvom dette havde været at foretrække.

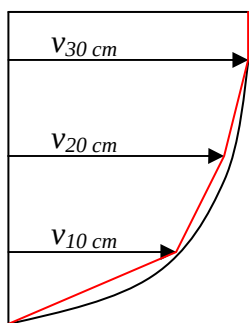
De propeller, der blev benyttet i forsøget, har den følgende formel

$n < 6,25$	$v = 0,0572n + 0,026$
$n > 6,25$	$v = 0,0540n + 0,046$

Hvor n er antallet af omdrejninger målt med propellen og v er vandføringen i punktet.

Den beregnede hastighed betegnes som v og kan afbildes som en vektor for hvert punkt i dybden, hvor der er foretaget en måling. Disse vektorer viser vandets strømning i det vertikale snit.

Nedenstående figur 16 viser, hvordan dette ser ud.

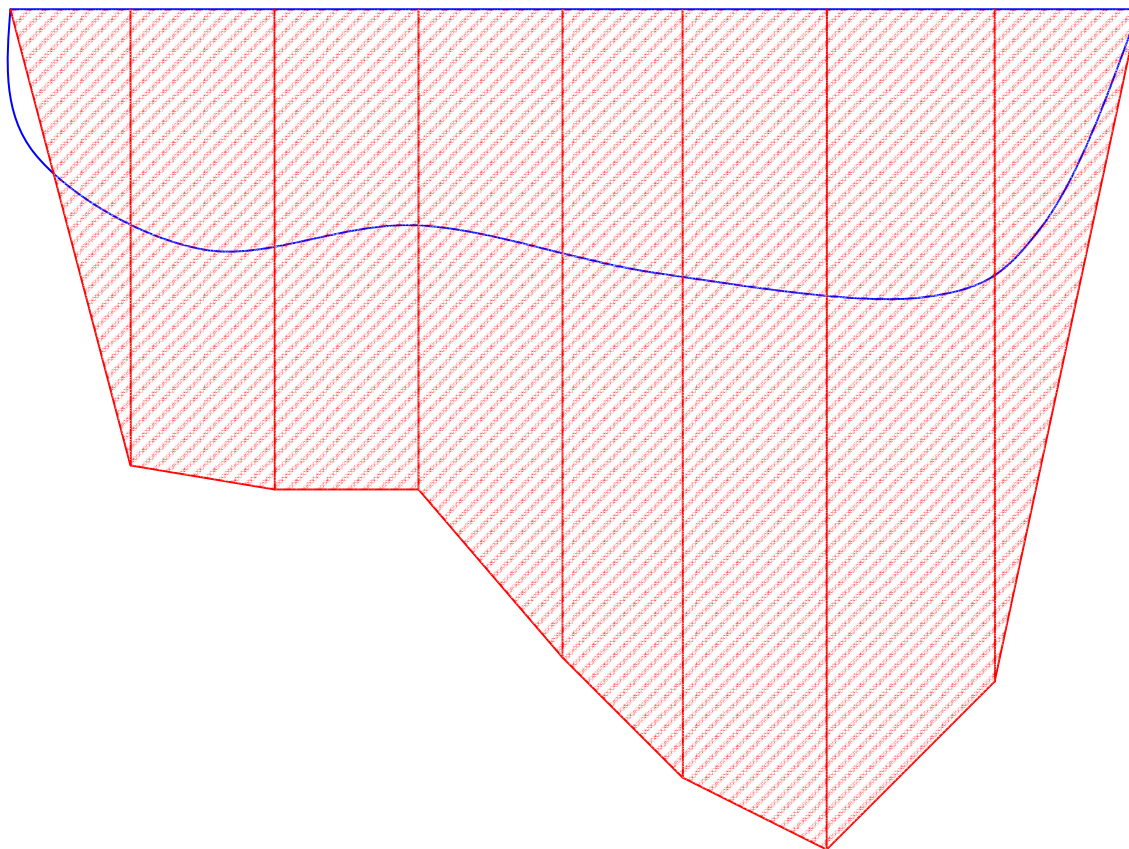


Figur 16: Vandstrømning i vertikalt snit.

Ovenstående vertikalsnit kan også, som det ses af figuren, inddeles i trekanter og trapezer. Derved kan man udregne vandgennemstrømningen i snittet ved brug af tilsvarende beregninger, som vist ved tværsnittet. Dette samlede areal kan nu beskrives ved en vektor, der viser den samlede vandgennemstrømning i det ene punkt i det lodrette snit. Ved at tage alle de vektorer man får fra dette og lægge dem sammen, fås det samlede areal som vandgennemstrømningen har i punktet. Når dette gøres for alle målepunkter, og derefter interpoleres for de mellemliggende punkter er det muligt at beregne den samlede vandstrømning.

Den samlede vandføring af tværsnitsprofilet kan derfor vises som det skraverede areal på figur 17, der viser et skematiseret vandløb.

Derved opnås det samlede areal som vandgennemstrømningen i punktet har og det er dermed muligt at beregne den samlede vandtransport i vandløbet.



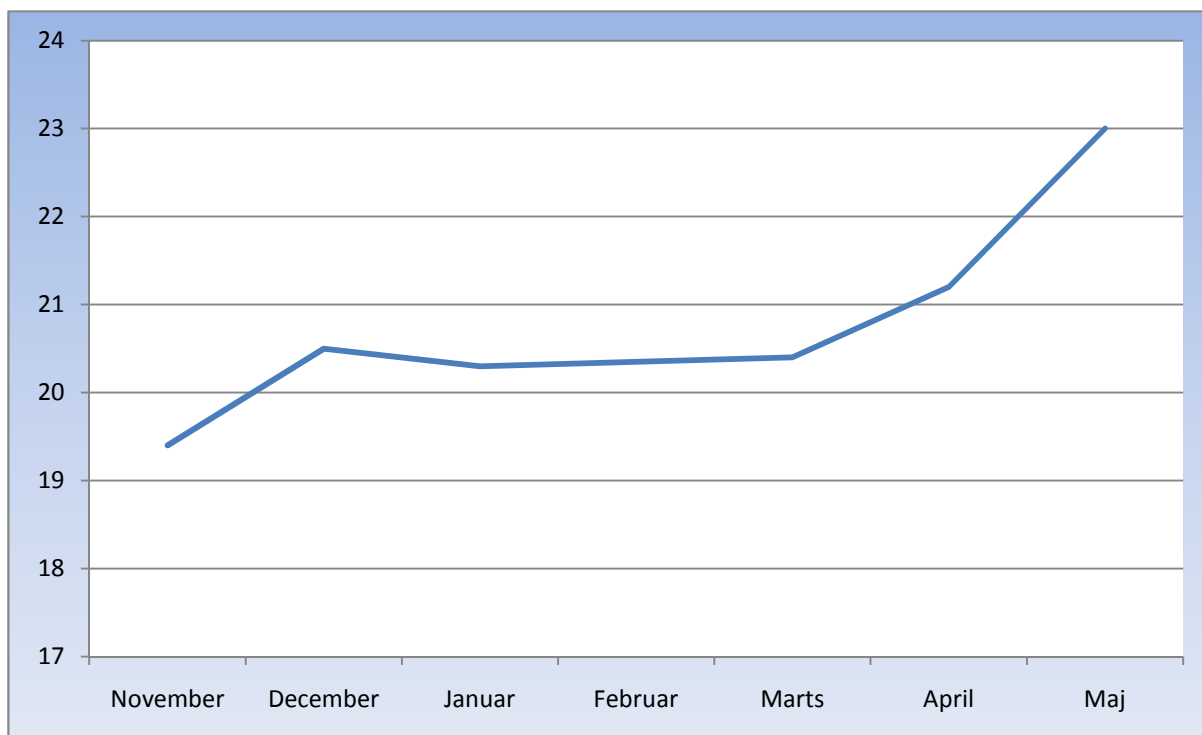
Figur 17: Tværsnitsprofil med hastighedsvektorer

Selve opmålingerne af vandføring blev udført ved hvert besøg på feltlokaliteten, altså ca. 1 gang om måneden. Dette bliver til 2 gang før restaureringen og 4 gange efter.

4.3 Q-H relation

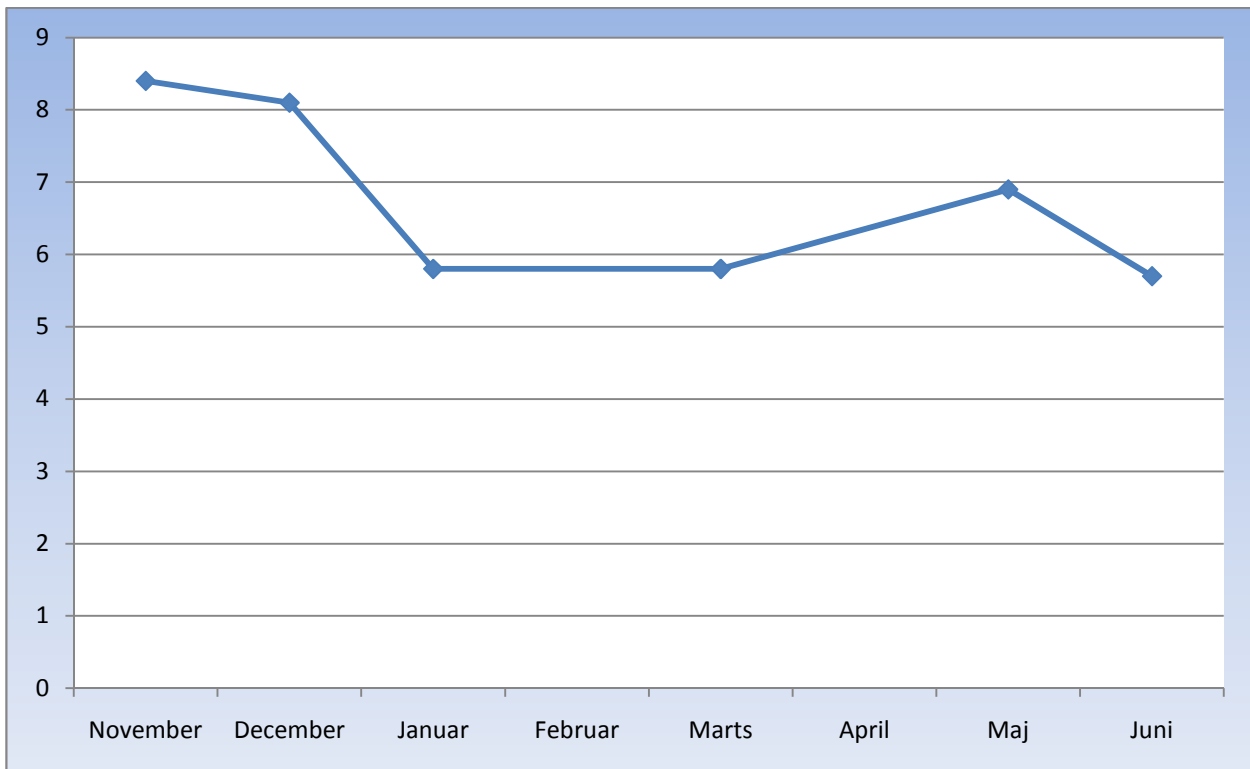
For at kunne omsætte tryktransducerens målinger af vandspejlsbeliggenheden til vandføring er det nødvendigt at kunne opsætte sammenhængen mellem Q og H. Måden, denne kurve frembringes på, er ved at plotte den målte vandføring mod den målte vandstand. Dette er opnået i forbindelse med Skamlebækken ca. en gang om måneden. Nedenstående figur 18 viser den udvikling, som vandstanden har gennemgået ved målestationen. Som det fremgår, så er vandstanden øget kraftigt

gennem test perioden.



Figur 18: Vandstand ved målestation over tid (cm/måned)

Når dette ses i sammenhæng med den samlede vandføring på nedenstående figur 19, så fremgår det, at der ikke er ændret vandføring i markant grad. Og hvis vandføringen er ændret, så er det i negativ retning, hvad der dog kan forklares med en generel lavere nedbørsmængde i sommerperioden sidst i perioden og en højere fra vinterhalvåret først i perioden.



Figur 19: Vandføring i Skamlebækken (l/s)

Den øgede vandstand, der observeres på figur 18, kan fx komme fra øget vegetation i vandløbet, der får vandstanden til at stige og sikkert også sænker vandhastigheden en smule.

4.4 Suspenderet stof

Et vandløbs transport af stof, sediment i vandfasen, betyder meget for livet i vandløbet, idet en meget stor transport af sediment vil betyde, at vandløbsbunden ændres konstant, og at vandløbet er uklart. Dette vil have betydning for hvilke arter, der kan leve der.

Hvis et vandløb transporterer store mængder af sediment, kan det være et tegn på, at vandløbet ikke er i morfologisk balance og derfor vil ændre sig på den ene eller anden måde. Det kan dog også betyde, at vandløbet naturligt får tilført store mængder sediment fra de tilstødende arealer, fx i forbindelse med overflade afstrømning. En anden kilde til større sediment transport i et vandløb kan være fra ubeskyttede eroderende brinker. Så selve vandløbets form i landskabet kan også have indflydelse på sedimentafstrømningen. For at undersøge dette forhold for Skamlebækken opsættes en isco-prøvetager nedstrøms for restaureringsområdet. Denne måler blev sat op ved siden af tryktransduceren som det kan ses på figur 12. Selve måleren er vist på figur 20.



Figur 20: Isco prøvetager

Det er muligt at indstille prøvetageren til mange forskellige indsamlingsmetoder alt efter, hvad dataene skal bruges til. Er der tale om en udvikling, der skal følges meget nøje over en kort periode, tages der mange prøver over en kort tidsperiode. Det er også muligt at justere størrelsen af de prøver, der udtages hvert tidsinterval alt efter, hvad der passer situationen bedst.

I dette projekt er prøvetageren indstillet til at tage fire prøver i døgnet, en hver sjette time, med et volumen på 250 ml pr. prøve. Der opnås altså fire prøver af samlet en liter pr. døgn, måleren kører. Prøvetageren har en maksimal kapacitet på 24 en liters flasker. Der kan altså tages prøver i 24 dage, før det er nødvendigt at skifte flasker. Flaskerne blev skiftet, når det var nødvendigt for at opnå kontinuert prøvetagning fra opstillingen af stationen og frem til slutningen af dataindsamlingsperioden. Dataene strækker sig altså fra første forsøgsdag og indtil sidste forsøgsdag i dette projekt.

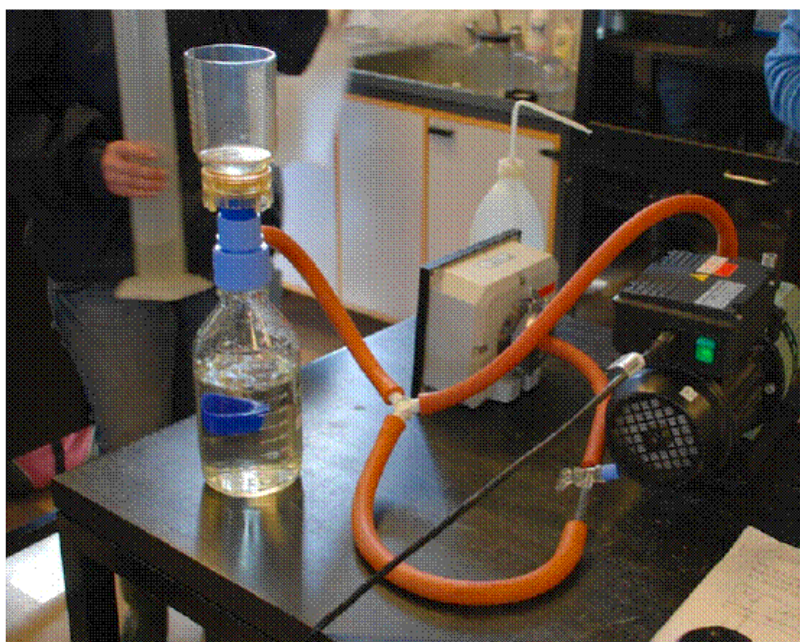
Selve prøveindtaget er vist på figur 21 og er afskærmet fra selve bunden af vandløbet med en plade. Dette sker for at forhindre, at prøverne bliver forurenede med bundsediment fra opsamlingsstedet. Det skal dog nævnes at, som det fremgår af billedet her fra sidst i perioden, så vil der lægge sig en

smule sediment på pladen.



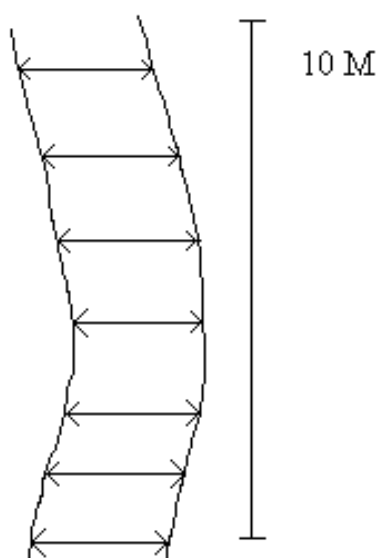
Figur 21: Prøve indtag til isco prøvetager

Prøverne transporteres til laboratoriet til videre behandling. Den i laboratoriet benyttede opstilling kan ses på figur 22.



Figur 22: Opstilling i lab

For at bestemme mængden af sediment i hver prøve er det nødvendigt at filtrere de enkelte prøver. Først vejes de filtre, der bruges til filtreringen med 0,0001 grams nøjagtighed. Dette sker for at gøre det muligt ved videre vejning at bestemme den præcise mængde af organisk og uorganisk sediment i prøven. Efter dette er det tid til at filtrere væsken gennem filtrene, hvis præcise vægt nu kendes for hvert enkelt filter, der anvendes.



Figur 23: Transektmåling

Den mængde væske, der benyttes på hvert filter, afhænger af et skøn om, hvor meget sediment, der er i hver enkelt prøve. Dette gøres for ikke at ødelægge filtrene med for store mængder sediment, der vil stoppe porene og gøre prøven ubrugelig. De 2 forskellige væskemængder, der benyttes, er enten 500 ml for de "rene" prøver, der altså har et lavt sediment indhold, og 250 ml for de mere uklare prøver med større mængder sediment i vandfasen. Prøverne hældes ud på filtret og om nødvendigt suges prøven gennem filteret ved hjælp af en vakuumpumpe, væsken samles i et bæger under filtret og hældes ud.

Man står nu tilbage med det enkelte filter, hvorpå sedimentet, både organisk og uorganisk, er fanget. Filtrene udsættes nu for tørring ved 100 grader i en ovn i mindst 6 timer. Dette sker for at sikre, at alt vandet er fjernet fra prøverne, så den tilbageværende vægt er udgjort udelukkende af sedimentet, både organisk og uorganisk.

Når denne tørring er overstået, vejes filtrene igen for at bestemme den præcise vægt af sedimentet. Når den samlede vægt er kendt, sættes filtrene i en ovn med en temperatur på 550 grader i 1 time for at afbrænde det organiske indhold. Når denne time er gået anbringes filtrene i eksikator, indtil de er afkølede for at forhindre, at de optager væde fra luften. Når dette er gjort, er den vægt, der er tilbage et udtryk for sedimentets samlede uorganiske indhold. Ved at trække dette fra vægten af det samlede sediment er det muligt at fastlægge vægten af det organiske indhold.

4.5 Transektmålinger

Ændringerne i Skamlebækken vil strække sig over hele det restaurerede stykke. Hvis hele stykket skulle opmåles, ville det dog kræve større ressourcer, både tids og arbejdsmæssigt, end der er til rådighed i forbindelse med dette speciale. Derfor udvælges fire strækninger til nærmere undersøgelse. Disse fire strækninger, tre på det restaurerede stykke og en opstrøms Mølledammen som reference strækning, vil blive opmålt i transekter. Hver udvalgte strækning er 10 meter lang og for hver enkelt vil der blive undersøgt tværsnitsprofil, strømhastighed, vegetation samt bundsediment for hver meter, altså 10 tværsnitsprofiler pr. strækning. Ydermere så vil der ved hver tværsnitsprofil blive undersøgt vanddybde, sedimenttype, plantedække og strømhastighed for hver 5 cm på tværs af vandløbet.

Hvordan disse målinger fordeles kan ses på figur 12, en afsat strækning kan også ses på figur 23. Det stykke der opmåles er stykket mellem de 2 pløkker, der ses på venstre side af bækken. Det bør også nævnes, at det stykke, der ses på billedet, figur 24, er den nederste strækning efter restaureringen.



Figur 24: Nederste strækning efter restaureringen.

Under udvælgelsen af strækningernes placering, blev det før restaureringen forsøgt at dække den naturlige variation i høl og stryg, som findes i bækken. Efter restaureringen blev strækningerne forsøgt lagt så tæt på placeringen af de oprindelige strækninger som muligt, samt med samme hensyntagen til at dække de forskellige habitater som eksempelvis høller og stryg.

Transektmålingerne er udført i forbindelse med det øvrige feltarbejde en gang før genopretningen af åen og yderligere fire gange efter genopretningen, cirka en gang hver måned fra januar til maj.

4.6 Bundprøver

Et af de parametre, der er vigtige for vandløbets stabilitet, form og for livsgrundlaget for de forskellige livsformer i vandløbet, er sammensætningen af bundsedimentet. For at undersøge dette i Skamlebækken blev der taget prøver af sedimentet seks forskellige steder i bækken før og efter restaureringen. De 12 prøvesteder blev udvalgt med den intention at dække de tilstedeværende sedimenttyper, så bredt som muligt. Prøverne blev udtaget med en prøvetager til invertebraludtagning.

Efterfølgende i laboratoriet blev prøverne udsat for 100 graders varme i 24 timer for at sikre, at alt vandet var fordampet fra prøverne. Prøverne blev derefter sigtet i en række sigter med faldende maskestørrelse. Sigten med de største porer havde en størrelse på 32 mm, derefter 16 mm, 8 mm, 4 mm, 2 mm, 1 mm, 0,5 mm, 0,25 mm og alt mindre end 0,25 mm blev samlet i sigterækkens bund. Dette er, hvad der kaldes, en modificeret Wentworth-skala[Bain, M. B et al, 1985]. For at sikre, at sedimentet havnede i den korrekte sigte, blev sigterækken vibreret i 5 min.

Det var derefter muligt at danne en graf over bundsedimentets sammensætning i vandløbet før og efter restaureringen.

4.7 Gis

Gis kortene, der er benyttet i dette afsnit, er fremstillet ved hjælp af data fra geodatabiblioteket og bearbejdet med arcgis programmerne. Kortene er fremstillet ved at tage kort over Danmark og beskære dem indtil de viste først Sjælland og senere området omkring Skamlebækken. Derefter er placeringerne af målestationer og strækninger plottet ind på kortet og de øvrige ting der er

nødvendige for et kort, så som skalaer og nord-pil er tilføjet.

4.8 Statistisk gennemgang af data

I forbindelse med den behandling af data som der vil blive foretaget i næste afsnit vil Microsoft excel blive brugt til størstedelen af databehandlingen og præsentationen.

Præsentationen af data sker for det meste gennem søjlediagrammer. Grunden til at søjlediagrammer er valgt frem for xy-punkt diagrammer er at der grundet restaureringen ikke er en direkte sammenhæng mellem mange af de datarækker der arbejdes med. Dette gælder fx de restaurerede strækningers data som fx bredde, dybde og strømhastighed. I situationer hvor det er klart at benytte xy-punkt diagrammer, som fx nedbør for området og vandstrømning er det valgt at benytte det standard diagram som xy-diagram.

En anden form for diagram der er benyttet er søjlediagrammer for procentfordeling, disse er benyttet mht. fordelingen af sediment typer i vandløbets bund. Xy-punkt diagrammer med procentsatser er benyttet hvor det drejer sig om d50 tests på sedimenttyperne fra vandløbet.

Medmindre andet er angivet er samtlige tegninger, grafer og billeder af egen produktion. Til tegningerne er benyttet MS paint eller lignende programmer.

En af de formler der benyttes i graferne i dataafsnittet er formelen for Stream power. Denne formel består af følgende faktorer.

$$\Omega = \gamma * g * Q * S$$

Hvor Ω er gross stream power, γ er vands vægt pr. m^3 , g er tyngdekraftskonstanten $9,82 m/s^2$, Q er den samlede vandstrømning i m^3 og S er faldet i vandløbet i promille pr meter.

For at kunne sammenligne denne størrelse mellem vandløb af forskellige bredder dividere man med vandløbets bredde i meter. Så for at få den specifikke stream power fås altså en formel som nedenstående.

$$\frac{\Omega}{w} = (\gamma * g * Q * S)/w$$

En anden formel der benyttes i dataafsnittet er formelen for shear stress som siger noget om det pres i newton som hver m^2 af vandløbets bund udsættes for. Denne formel ser ud som nedenstående.

$$G = \gamma * g * O * I$$

Hvor G er $\text{N} \cdot \text{m}^2$, altså newton $\cdot \text{m}^2$, γ er igen vands vægt pr. m^3 , g er igen tyngdekraftskonstanten på $9,82 \text{ m/s}^2$, O er dybden i vandløbet, i dette tilfælde benyttes gennemsnits dybderne for strækningerne. Denne størrelse er angivet i cm. I angiver faldet i vandløbet. Det er altså den samme størrelse som S i den tidligere formel.

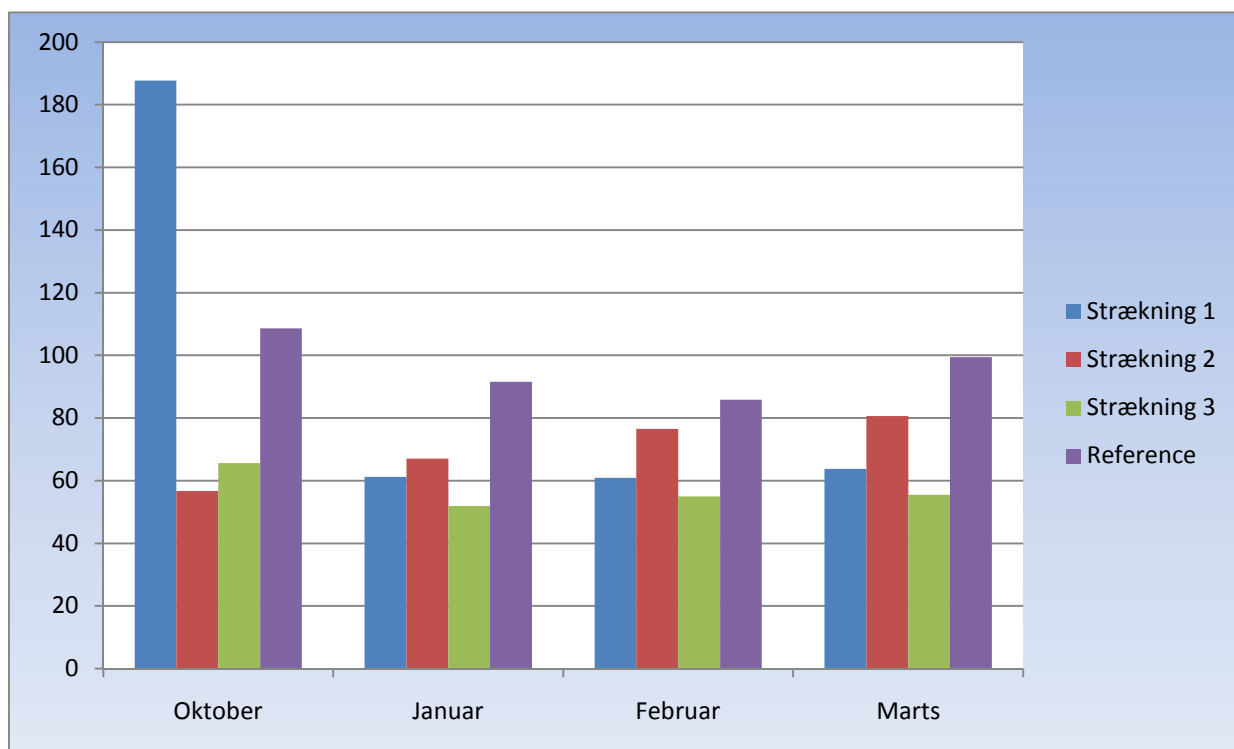
5. Databehandling

I dette afsnit vil de data, der er indsamlet gennem felt- og laboratoriearbejde, blive gennemgået og der vil blive opridset et billede af den ændring, som Skamlebækken har gennemgået som følge af restaureringsprocessen.

I starten af afsnittet vil hele ændringen blive gennemgået overordnet og overblikket vil blive skabt. Efter dette vil der ses nærmere på hver enkelt strækning for at nærstudere lige præcist, hvilke ændringer den enkelte strækning har været udsat for.

5.1 Den overordnede udvikling.

Til at starte med vil vandløbets fysiske form blive gennemgået og de ændringer, der er sket med denne faktor vil blive belyst nærmere.

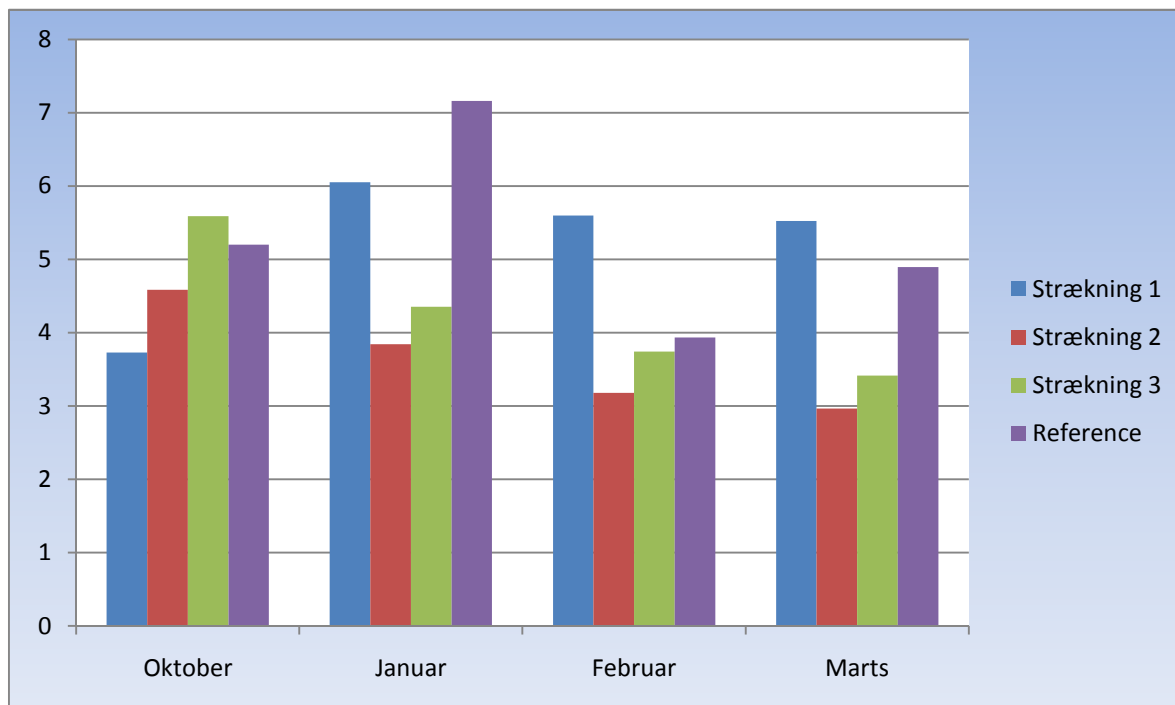


Figur 25: Udvikling i gennemsnitlig bredde (cm/dato)

Ovenstående figur 25 viser den udvikling som Skamlebækkens gennemsnitlige bredde har gennemgået. Som det ses af figuren, så er der sket en stor ændring med Strækning 1, hvis gennemsnitlige bredde er gået fra næsten 190 cm før restaureringen til lige over 60 cm efter. Strækning 2 og 3, der er de øvrige strækninger inden for det restaurerede område, har oplevet ændringer, der ligger inden for det udsving, man kan se på reference strækningen. Ud fra

ovenstående figur 25 kan man altså konkludere, at breddemæssigt er det kun strækning 1, der har oplevet en markant forandring ved restaureringen.

Det andet aspekt af vandløbets fysiske form er vandløbets dybde, som ses på nedenstående figur 26.



Figur 26: Udviklingen i gennemsnitlig dybde (cm/dato)

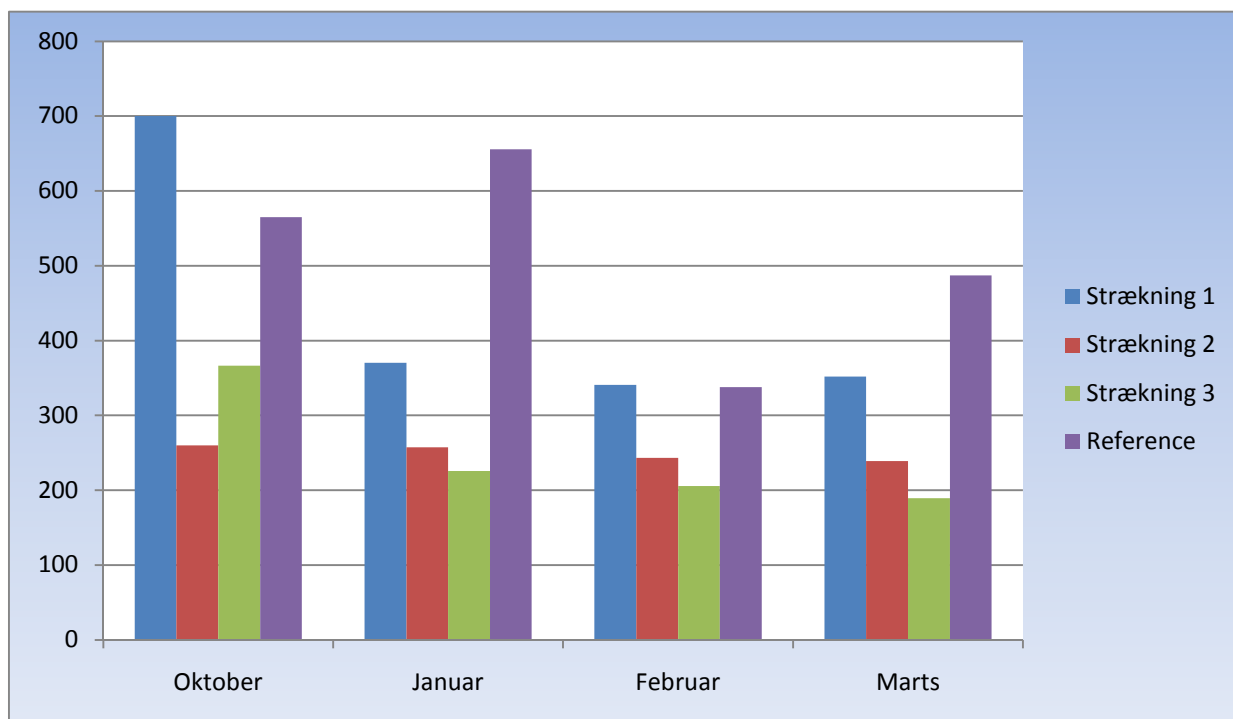
Som det ses af figur 26, så er der også sket ændringer i gennemsnitsdybden ved restaureringen.

Også her skiller strækning 1 sig ud fra de øvrige restaurerede strækninger, idet der her er observeret en øget gennemsnitlig dybde på 2 cm. De øvrige strækninger i de restaurerede område, strækning 2 og 3, oplever et fald i gennemsnitsdybden på ca. 2 cm.

Dybden på referencestrækningen har store udsving i perioden, men ligger dog lige omkring 5 cm både i starten af perioden og i slutningen. De store udsving kan blandt andet forklares med at de forskellige profilmålinger på referencestrækningen blev foretaget forskellige steder på den 10 m lange strækning. Dette skete for at dække reference strækningen så godt som muligt, dette har dog ovennævnte indflydelse på resultaterne. Et andet aspekt, der kan have spillet ind på denne faktor, er sedimentation af vandløbet, i form af aflejring af sand i vandløbet som følge af manglende strømhastighed til at transportere det videre.

Ved at kombinere de to ovenstående figurer er det muligt at skabe sig et overblik over, om det gennemsnitlige tværsnitsareal for vandløbet bliver større eller mindre. Med de givne fakta vil det

område vandet har til rådighed stige eller falde og denne udvikling kan ses på nedenstående figur 27.



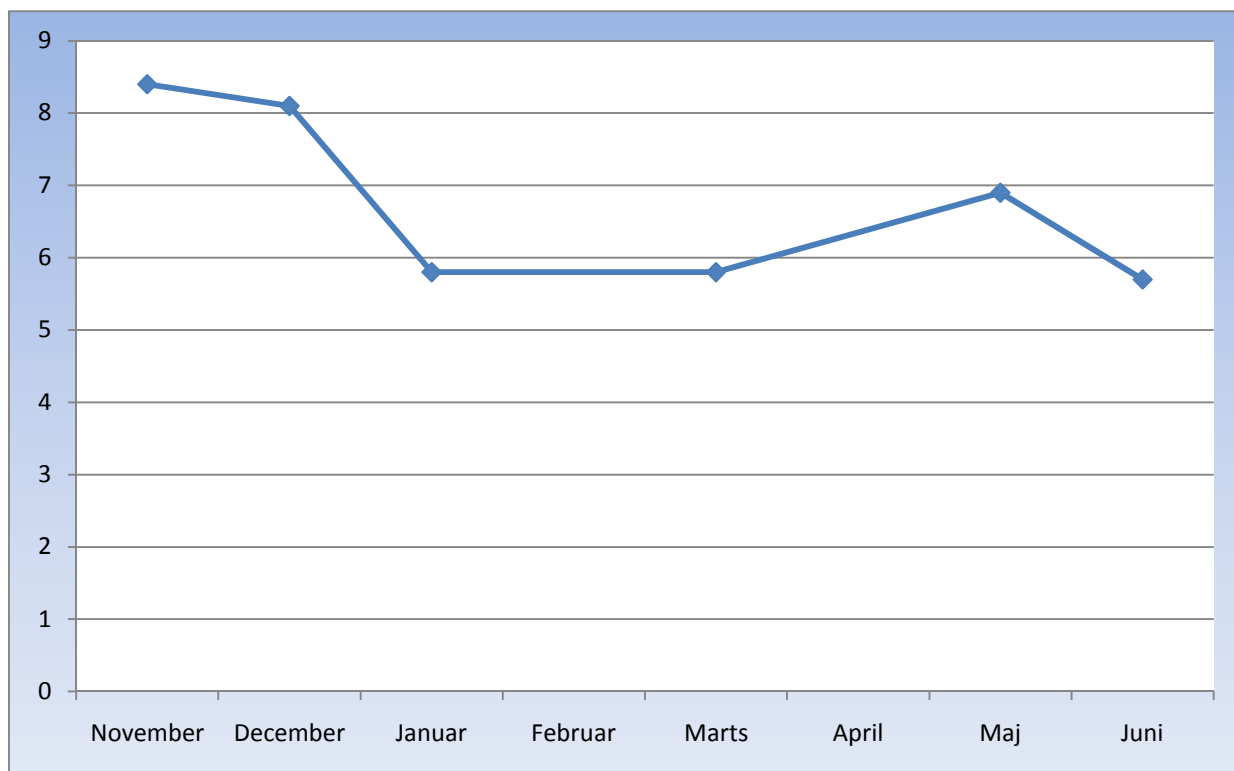
Figur 27: Arealet af tværsnitsarealet (cm²)

Som det fremgår af ovenstående figur 27, så kan der konstateres et fald i arealet af tværsnitsarealet for alle 3 restaurerede strækninger. Som nævnt skyldes dette sikkert, at der er foretaget målinger forskellige steder i referencestrækningen, og eventuelt i mindre grad morfologiske ændringer som følge af sedimentation.

Det meget mere ensidige fald i arealet, der observeres for de 3 restaurerede strækninger, er resultatet af det nye løb. I perioden fra januar til marts sker der stort set ikke ændringer i tværsnitsarealet. Der sker altså ikke en nævneværdig morfologisk ændring af vandløbet her.

De 3 restaurerede strækninger oplever som nævnt fald i tværsnitsarealet, dette fald er størst for strækning 1 med et fald på ca. 325 cm². Strækning 2 har et fald på beskedne 20 cm² mens strækning 3 oplever et fald på 80 cm².

Ovenstående fald i det område bør, medmindre vandføringen falder drastisk, resultere i en kraftig øget vandføring, og dermed ændrede levevilkår for faunaen i vandløbet. For at dække denne faktor er vandføringen i Skamlebækken plottet ind på nedenstående figur 28.

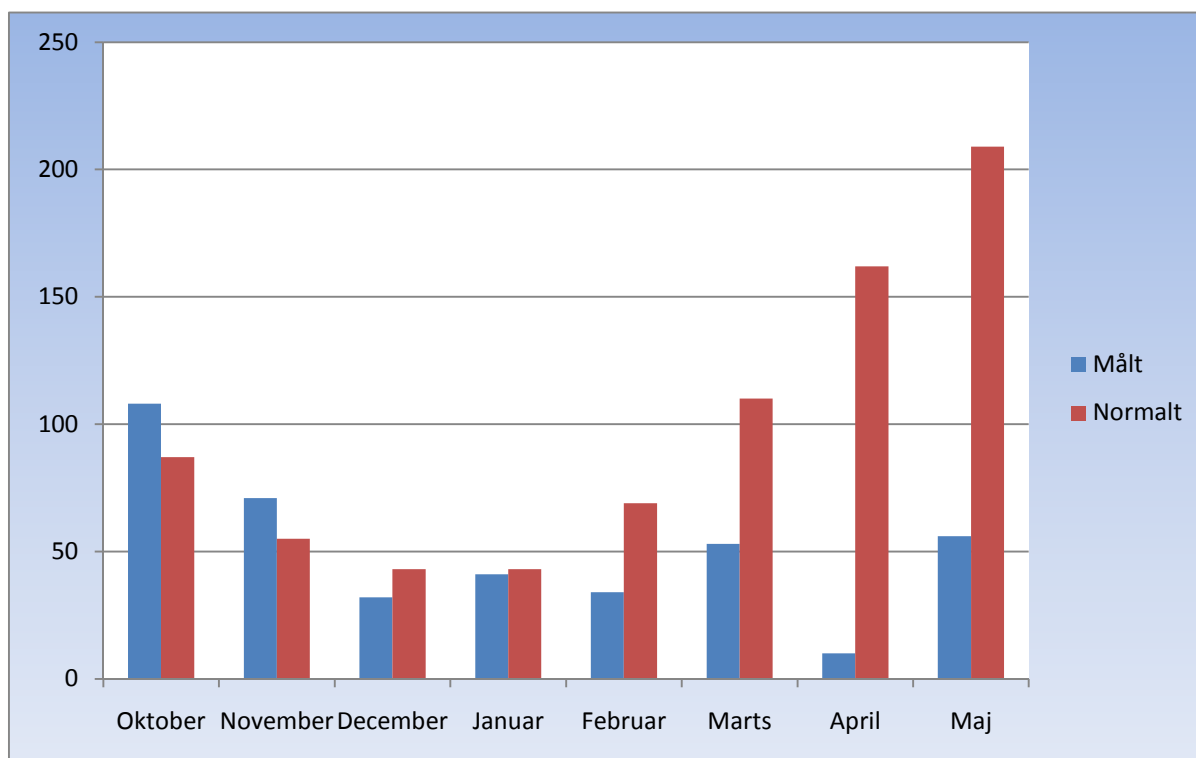


Figur 28: Vandføringsmåling for Skamlebækken (l/s)

Figur 28 viser den vandføring, der er observeret i Skamlebækken over den periode, hvor projektet har forløbet. Dette dækker tiden før restaureringen og månederne efter. Som det ses, så er der et generelt fald i vandføringen. Dette kan skyldes en sæsonmæssig variation. Dette bør dog ses i forhold til nedbørsmængden fra perioden, som vi vil gøre senere i dette afsnit.

På figur 28 ses det, at den samlede vandføring falder fra ca. 8,5 l/s til ca. 5,8 l/s over projektperioden, som nævnt finder den største del af dette fald, 2 l/s sted lige efter restaureringen. Hvis dette var den eneste faktor, der ændrede sig i vandløbet, ville dette medføre en formindsket gennemsnitlig strømhastighed med følgende ændringer i levevilkårene for faunaen i vandløbet. Usikkerheden på målinger skal dog også tages med i denne sammenhæng. På denne slags målinger anslås fejlfaktoren til at være omkring 10-20 % pr måling. Når dette ses i sammenhæng med sæsonmæssig varians, så kan det forklare en del af udsvinget. Der er altså efter al sandsynlighed tale om sæsonmæssig varians, eventuelt kombineret med en øget udsivning fra bunden af vandløbet idet den nye bund har en større permeabilitet end det tidligere bundsediment. Denne observation bygges på det faktum, at en eksisterende bund med plante og algevækst vil have en lavere permeabilitet end den nyetablerede bund bestående af groft og fint grus. Grundet det finere bundsediment og plantevæksten vil vandet altså trænge gennem bunden og forlade vandløbet i en vis grad. Dette er

dog en begrænset effekt, hvis man tager de 10-20 % fejlkilde på målingerne med ind i overvejelserne. En ting, der taler mod at udsvinget i vandføringen er sæsonrelateret, er, at Skamlebækken hovedsageligt er kildefødt. Normalt vil et kildefødt vandløb opleve mindre udsving end et tilsvarende vandløb, der er født af fx nedbøren i et opland. I dette tilfælde vil det dog være relevant at se på nedbøren for området i perioden, hvor undersøgelsen har fundet sted. Dette kan ses på nedenstående figur 29.

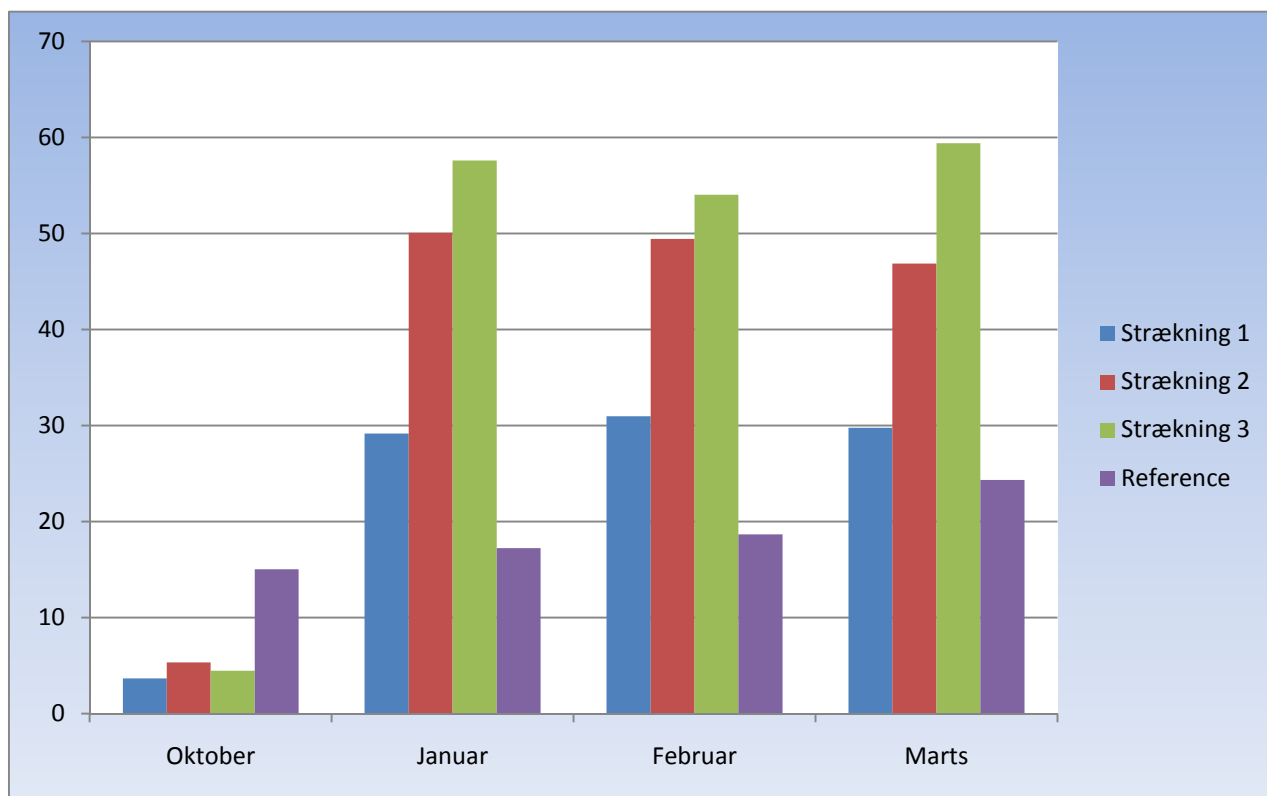


Figur 29: Nedbør i undersøgelsesperioden. (mm/måned)

Som ovenstående figur 29 viser, så er der igennem den sidste del af perioden et meget stort underskud af nedbør i området. Dermed er der også et underskud af vand, der tilflyder grundvandsmagasinerne. Der vil altså blive presset mindre vand ud i vandløbet grundet det mindre pres i grundvandsmagasinerne. Derfor kan denne udvikling være med til at forklare den mindre mængde vand i vandløbet.

Hvis udviklingen i vandføring fra figur 28 ses i sammenhæng med udviklingen i tværsnitsarealet fra figur 27, ses der to modsatrettede udviklinger. Det reducerede tværsnitsareal peger mod højere vandstrømning, mens en generelt reduceret vandføring vil resultere i et fald i vandstrømningen. Der er derfor ikke nogen entydig tendens i disse parametre for i hvilken retning gennemsnitsstrømhastigheden vil bevæge sig.

Udviklingen kan dog bestemmes ud fra de strømhastighedsmålinger, der er udført i forbindelse med udarbejdningen af tværsnitsprofilerne. Disse data er behandlet og indsat i nedenstående figur 30.



Figur 30: Gennemsnitlig Strømhastighed (cm/s)

Ovenstående figur 30 viser, at den gennemsnitlige strømhastighed er steget kraftigt i samtlige af de restaurerede strækninger. Stigningen er størst for strækning 2, ca. 45 cm/s, og 3, 53 cm/s, men strækning 1 har også oplevet en særdeles stor stigning på op til 24 cm/s stigning fra før til efter restaureringen. Referencestrækningen gennemgår også en svag stigning i gennemsnits strømhastigheden. Dette kan dog være resultatet af, at plantedækket i det restaurerede løb forsvinder i vinterhalvåret og der dermed er en mindre modstand mod vandstrømmen.

Det kan altså konkluderes, at der er sket en drastisk ændring i strømhastigheden i alle tre restaurerede strækninger, også set i forhold til den stigning der er observeret i reference strækningen på ca. 10 cm/s.

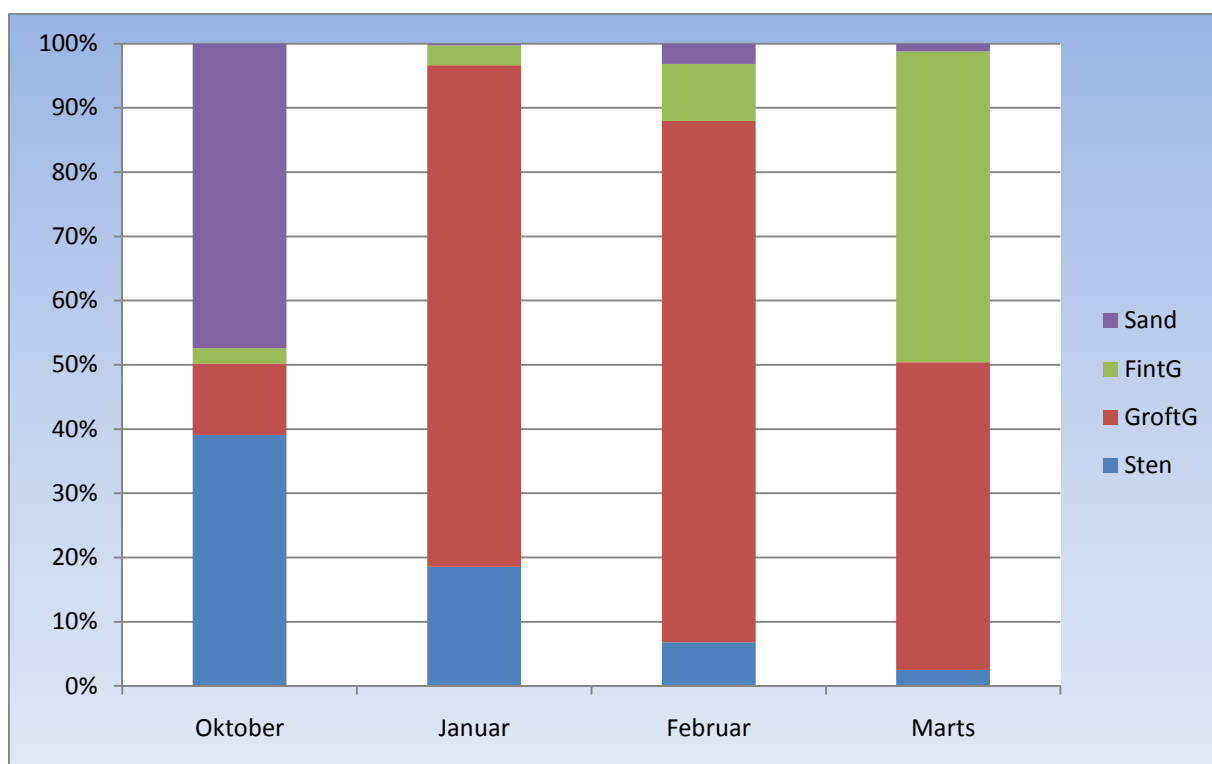
De aspekter af den økologiske kvalitet, som strømhastigheden har betydning for, vil derfor efter al sandsynlighed opleve en drastisk ændring set i forhold til situationen før restaureringen.

Et andet aspekt med stor betydning for livet i vandløbet er sammensætningen af bundsedimentet i vandløbet. Eftersom hele bundsedimentet i Skamlebækken bliver erstattet i forbindelse med

restaureringen, så vil der kunne ses store ændringer på dette område og medfølgende store ændringer for de vilkår, som livet i vandløbet har.

For at få overblik over hvilke sedimenttyper, der er i Skamlebækken, blev sedimenttyperne for hvert punkt på tværsnitsprofilerne noteret ned. Det er altså muligt for hvert enkelt punkt at have flere forskellige sedimenttyper. Disse observationer er så opgjort i procent for at gøre en eventuel udvikling i bundsedimentets sammensætning mere tydelig.

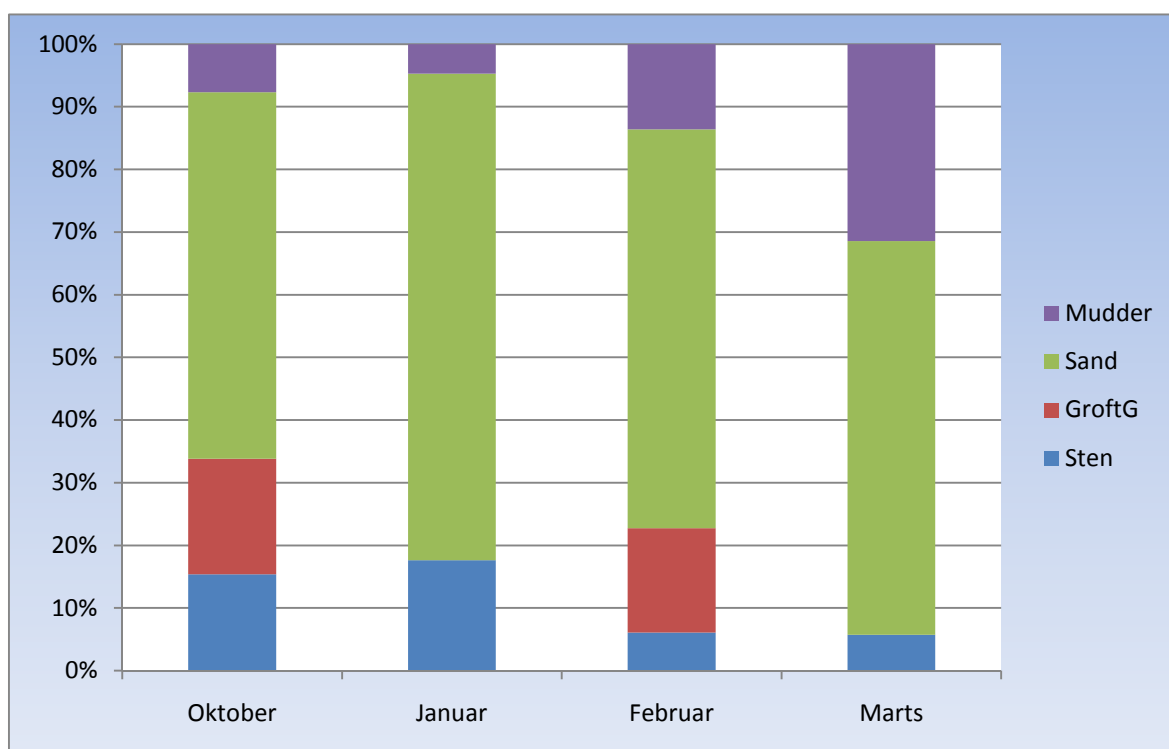
Nedenstående figur 31 viser sammensætningen af bundsedimentet fra før situationen, oktober, og den sammensætning, som vandløbet har i månederne efter.



Figur 31: Udvikling i bundsediment, restaureret område (dækning/måned)

Som det ses af ovenstående figur 31, så bliver bundsedimentets sammensætning ændret dramatisk fra før til efter restaureringen. Stenbund, som er et af de mest udbredte bundsedimenter før restaureringen, er stort set ikke eksisterende på fjerde forsøgsdato. Det samme kan observeres med hensyn til sandbund. Det grove grus, der blev brugt som bundmateriale efter restaureringen, er dominerende på de 2 midterste forsøgsdatoer, den 15. januar og 17. februar. På den fjerde dato, den 23. marts, kan det observeres, at en stor del af vandløbets bund udgøres af fint grus. Dette skyldes, at der er udlagt en mængde fint grus for at stabilisere bunden af vandløbet og brinkerne. Denne udlægning fandt sted mellem den 17. februar og den 23. marts.

Ud over de ovennævnte bundsedimenttyper blev der også observeret områder i strækning 1, 2 og 3, der bestod af silt og mudder. Efter restaureringen var disse sedimenttyper ikke at finde i det restaurerede område. Det kan dog ses ud fra nedenstående figur 32 over referencestrækningens sediment, at silt ikke var en specielt udbredt sedimenttype i vandløbet, så der kan ses bort fra denne. Reference strækningen angiver dog, at mudder var et mere typisk bundsediment for Skamlebækken. Det, at denne sedimenttype er manglende, kan derfor medvirke til en ændring i den økologiske kvalitet af vandløbet. Dette postulat bygger på, at når antallet af forskellige sediment typer sænkes i et vandløb, så vil nogle af de invertebral typer, der lever i disse sedimenter, ikke længere være at finde her, idet deres habitat forsvinder. Man kan så opleve større mængder af de arter, der foretrækker de habitater, der er i stedet for mudder. Men idet økologisk kvalitet ofte bygger på antallet af arter, vil der ske en ændring i den økologiske tilstand.

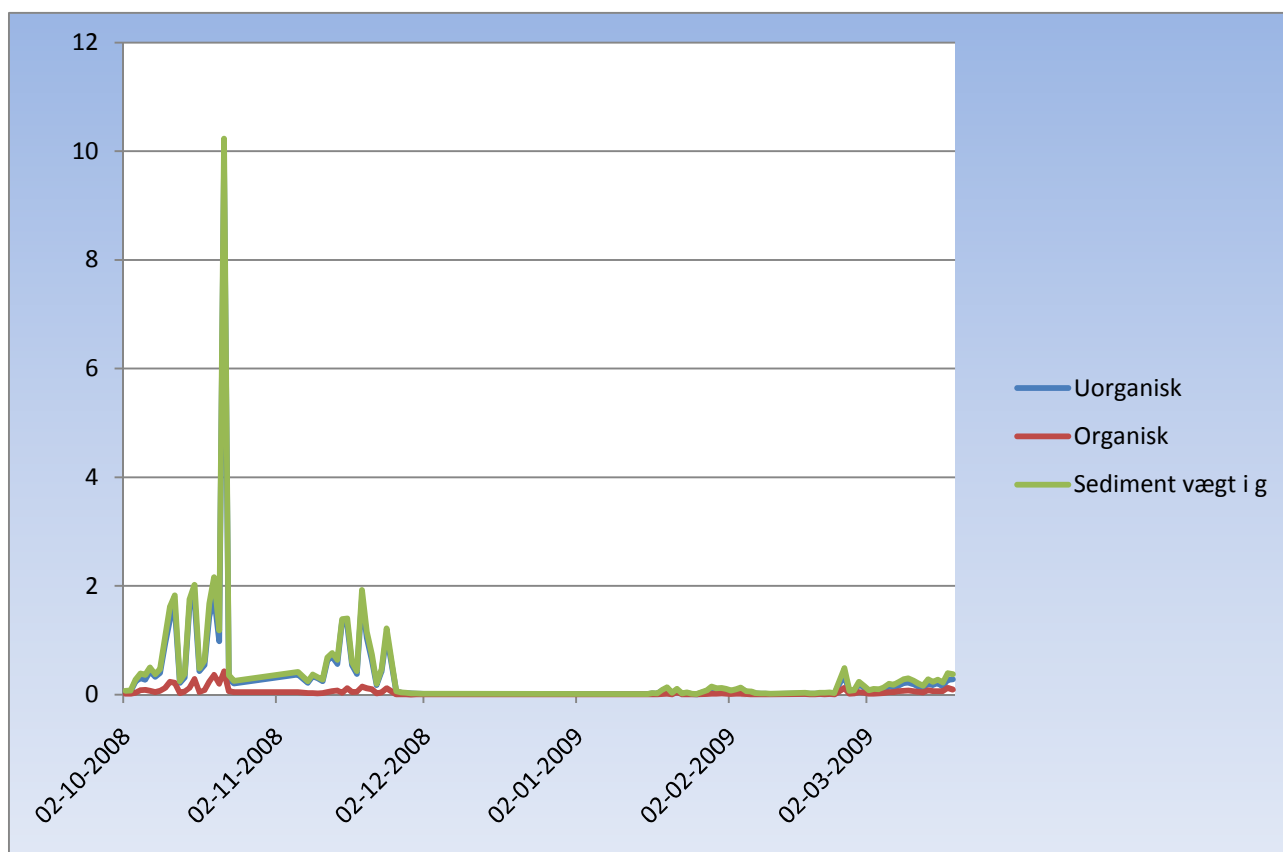


Figur 32: Udvikling i bundsediment, referencestrækning (dækning/måned)

Som ovenstående figur 32 viser, så gennemgår reference strækningen også en udvikling gennem forsøgsperioden. Dog er den bestanddel, der består af sten, relativt konstant. Dette indikerer, at hvis man ønsker at få den restaurerede del til at vende tilbage til en situation tættere på den originale, så bør der udlægges sediment af sten størrelse, idet disse ikke bliver flyttet til vandløbet naturligt. Ydermere kan det observeres, at der foregår store udsving i mængden af mudder i vandløbet, denne sedimenttype vil altså automatisk dannes i vandløbet, hvor forholdene tillader det. Dette sker som

følge af sedimentering af silt og organiske rester, i dette tilfælde sikkert blade fra de omliggende træer, på de steder, hvor strømhastigheden falder og ikke længere kan transportere sediment. En forudsætning for, at der dannes mudder, er altså, at der er meget lav strømhastighed. Dette bunder i, at silt er en af de sediment typer med det laveste diameter, og det transporteres dermed lettest. En opmagasinering af mudder på steder, der ikke før var dækket af dette, indikerer derfor, at der er lavere strømhastigheder, altså en lavere vandtransport, nu end tidligere. Der sker altså en opmagasinering af mudder, som først vil blive skubbet løs, når vandtransporten bliver hævet. Med dette for øje kan man hævde, at nedenstående figur 33 med sediment transporten ikke viser hele billedet. En vis del af det sediment, som skulle være afsat i fælden og dermed kunne aflæses på figuren, er altså stadig i vandløbet.

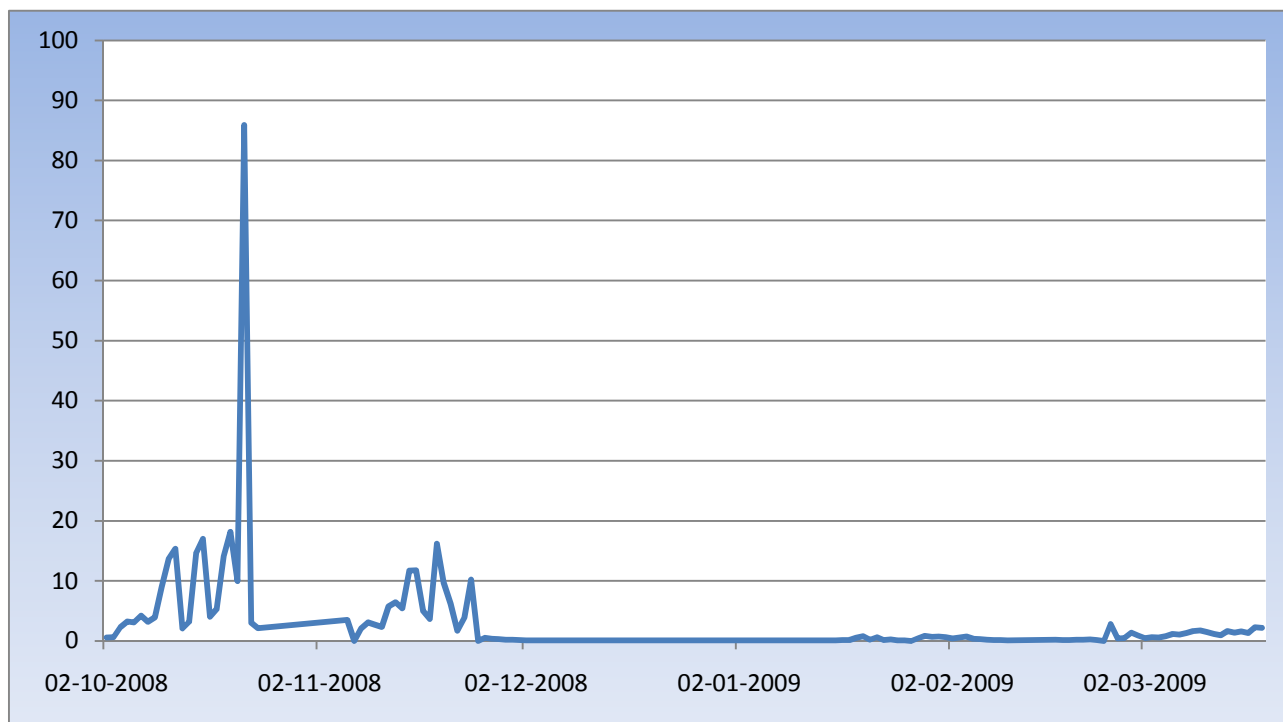
Et andet aspekt af bundsedimentet er dets indflydelse på det sediment, der er at finde i vandfasen. Ved hjælp af prøvetageren ved station A er der fundet følgende udvikling i sedimentet i vandfasen gennem restaureringsprojektet.



Figur 33: Udviklingen i sediment i vandfasen i g/l

Som det ses af ovenstående figur 33 så ligger sedimenttransporten med udsving relativt stabilt omkring den samme mængde. Det lille stykke før den første stigning viser det normale niveau.

Derefter stiger den op i nogle udsving, der skyldes arbejdet med restaureringen. Disse udsving strækker sig hen til det tidspunkt, hvor det restaurerede løb åbnes. Her kan der observeres en stor udvaskning bestående af uorganisk materiale. Dette uorganiske materiale består af alt det sand og mindre materiale, som ikke ligger stabilt i det nye løb. Idet vandet lukkes ind i det restaurerede løb, sker der den udvaskning af overflødigt materiale, som giver den kraftige stigning. Efter denne spidsbelastning er overstået, er der en periode med højere end gennemsnitlig udvaskning og udsving. Dette skyldes den fortsatte søgen mod et stabilt vandløb. De 3 store udsving der observeres i perioden kan eventuelt forklares med eroderende brinker, der også skal finde et nyt naturligt leje. Efter det sidste af disse udsving finder sediment transporten tilbage til sit naturlige leje fra før restaureringen. Der er nogle få udsving, men alt i alt kan det observeres, at en balance er fundet. I slutningen af forløbet kan der igen observeres en vis stigning i sedimenttransporten. Dette skyldes sikkert den yderligere udlægning af fint grus, som der også er nævnt tidligere under figur 31. Fortsætter denne udvikling er det sandsynligt, at vandløbet efter en periode vil falde i ro og igen have en sediment transport, som ligger i niveau med det fra før restaureringen samt det niveau, der kan observeres imellem de to udlægnings af grus. Hvis denne sedimenttransport ses i forhold til den samlede vandtransport, så vil man få en samlet sediment transport i gram som nedenstående figur 34 viser.



Figur 34: Samlet sediment transport i gram

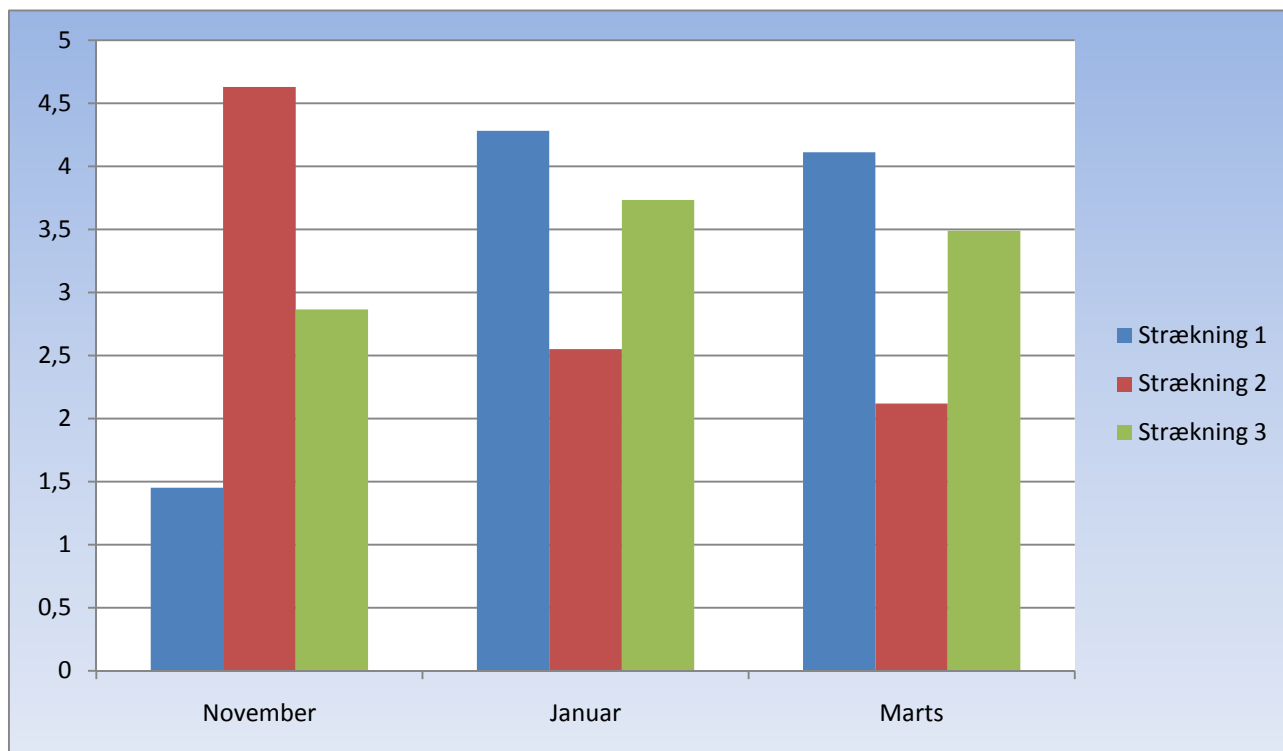
Der er altså et maksimum på ca. 86 gram transporteret sediment den 22. oktober.

For at sige noget om vandløbets evne til at transportere sediment udregnes strækningernes stream power før og efter restaureringen. Stream power er en størrelse, der viser, hvor store sediment størrelser det enkelte sted i vandløbet er i stand til at transportere under de forhold, der er gældende. De faktorer, der spiller ind her, er vands vægt, tyngdekraftskonstanten, den samlede vandmængde og det fald, som der er på strækningen.

Netop faldet i Skamlebækken bliver ændret som nedenstående tabel viser fra før og til efter restaureringen. Dette fald er noteret i promille, altså hvor mange meter falder vandløbet i terrænet over 10 meters længde.

	Fald før restaurering	Fald efter restaurering
Strækning 1	0,33	0,46
Strækning 2	0,33	0,3
Strækning 3	0,33	0,34

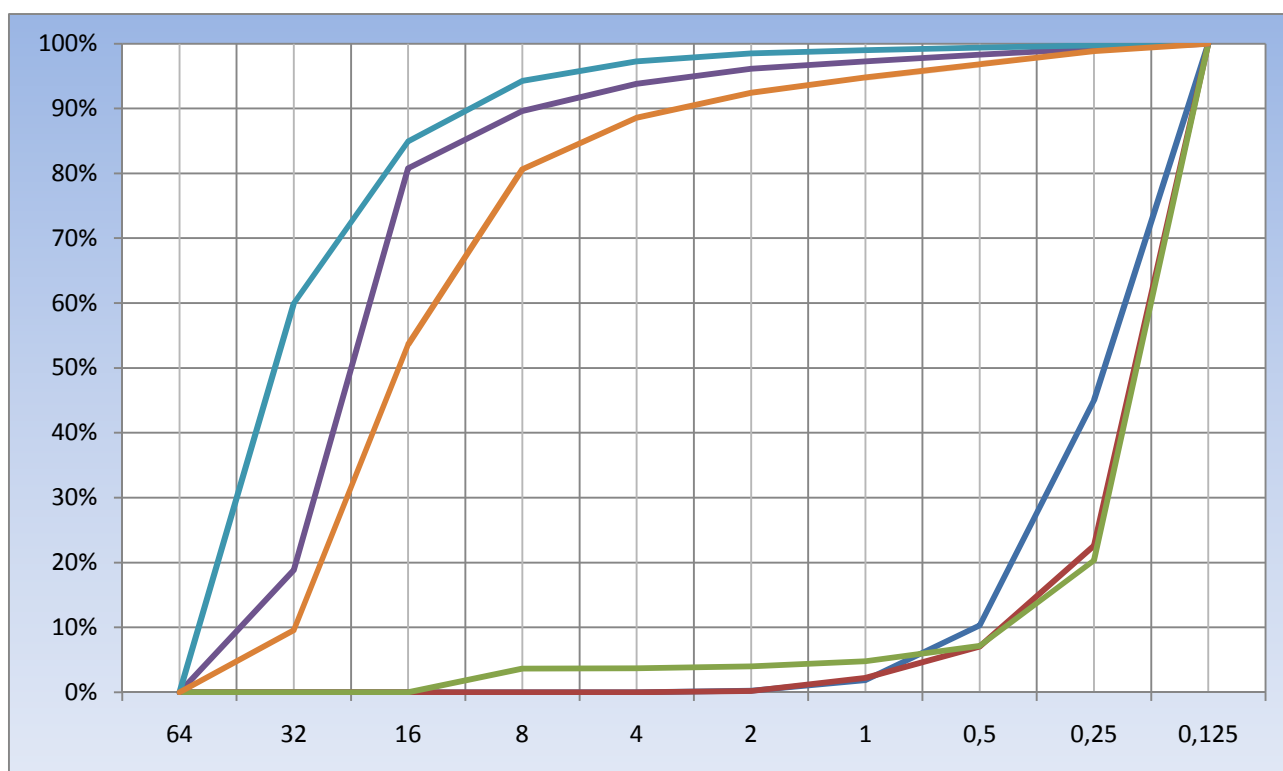
Faldet på strækningerne før restaureringen ligger altså på 0,33 meters fald pr. 10 meter i længden. Dette giver en udvikling i samlet stream power som set på nedenstående figur 35



Figur 35: Samlet stream power (wat/m^2)

Som det fremgår af figur 35, så sker der en stigning i stream power for strækning 1 og 3, mens strækning 2 oplever fald i stream power. Strækning 1 og 3 vil altså opnå øgede evner til at transportere sediment, mens det modsatte sker i strækning 2. En af grundene til at stream power falder på strækning 2 kunne være den reducerede vandtransport, som vi ser på figur 28.

Et af de aspekterne ved en total restaurering er, at sedimentet i bunden af vandløbet bliver skiftet ud. Dette har både betydning for vandløbets stabilitet, men også for livet i vandløbet og specielt den mængde sediment, som vandløbet transportere. For at undersøge sedimentet i vandløbet er der lavet en analyse af bundsedimentets sammensætning både før og efter restaureringen.

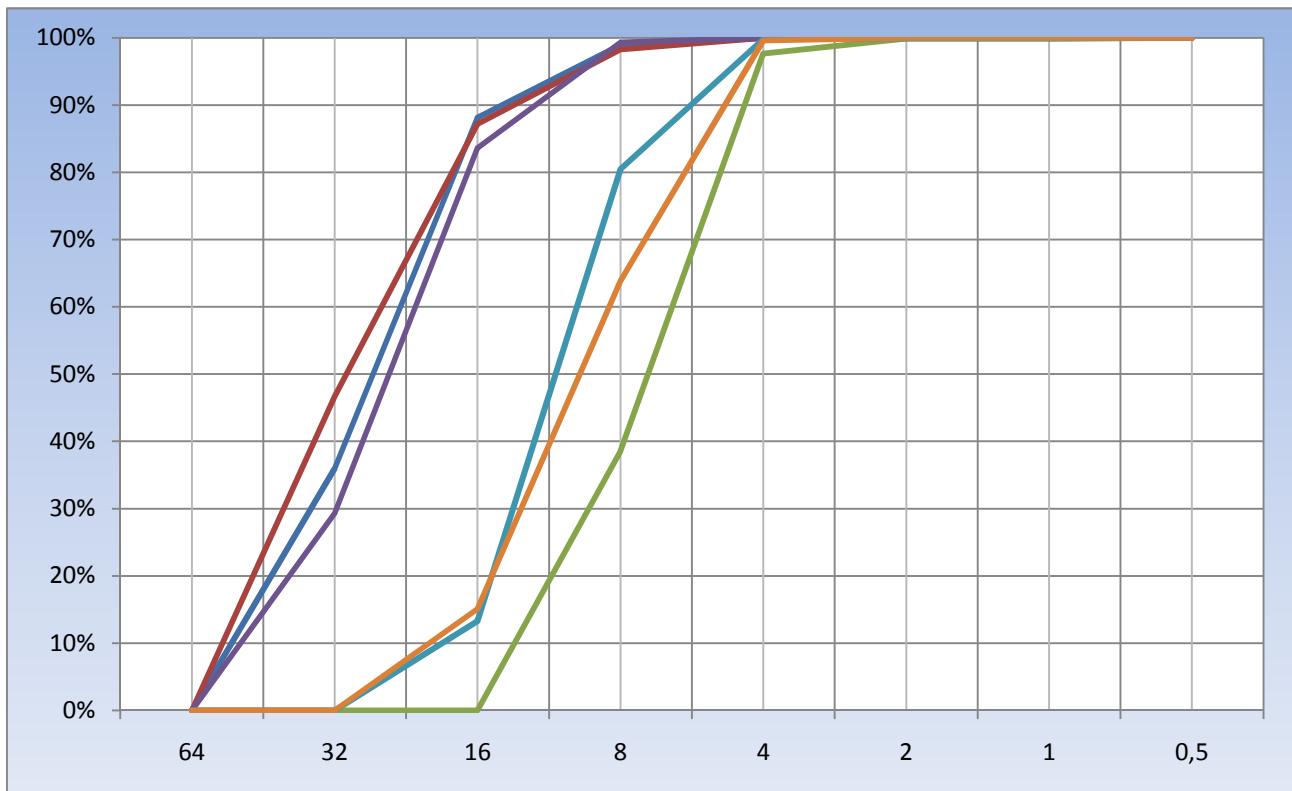


Figur 36: Kornstørrelsesfordeling for 6 tilfældigt udvalgte prøver, før situation. (procent/mm)

Ovenstående figur 36 viser 6 forskellige sediment typer fra Skamlebækken før restaurering. Det ses, at de 6 sediment er delt op i 2 grupper hvor 4, 5 og 6 er de grovere grupper, mens 1, 2 og 3 er de finere grupper. I udvælgelsen af ovenstående 6 sediment typer er det forsøgt at dække spektret af sedimenttyper i hele det restaurerede område af Skamlebækken.

Ud fra ovenstående figur 36 kan det altså konstateres, at der i Skamlebækken før restaureringen fandtes sediment i begge ender af spektret, både med en d50 på omkring de 32 mm og sediment med en d50 på omkring 0,25 mm.

Efter restaureringen blev en lignende undersøgelse lavet for at se i hvor stor grad, sediment typerne havde ændret sig. Samtidig med at kunne vurdere ændringen i sediment, ville det også være muligt at vurdere, hvor stor vandføring, der skal til, for at sætte bevægelse i det nye bundsediment. Dermed kunne det antydes, om der er sket store ændringer i sedimenttransporten som resultat af ændringer i denne faktor.



Figur 37: Kornfordeling for 6 tilfældigt udvalgte prøver, efter situation. (procent/mm)

Ovenstående figur 37 repræsenterer kornsammensætningen for den nye bund sediment i Skamlebækken. Endnu engang er det forsøgt at vælge sediment typer, der repræsenterer det, der er at finde i bunden af det nye løb.

Det fremgår dog tydeligt, at selvom der stadig er 2 grupper, så har placeringen af de 3 finere grupper flyttet sig markant til venstre på grafen. Der er altså sket et kraftigt stigning i den d50, der er i Skamlebækkens sedimenter.

Ud over stream power så er der også en anden størrelse der benyttes i forbindelse med vurderingen af et vandløbs evner til at transportere sediment. Dette størrelse kaldes for Shear stress og er funktion af dybden i vandløbet og faldet i promille. Nedenstående tabel viser udviklingen i shear stress for Skamlebækken gennem restaureringsprocessen.

	November	Januar	Marts
Strækning 1	12,1	27,3	24,9
Strækning 2	14,9	11,3	8,7
Strækning 3	18,1	14,5	11,4

Ovenstående tal er i Newton/m^2 , altså det tryk som vandet udsætter hver enhed i vandløbets bund for. Og dermed hvor store størrelser sediment der kan flyttes. Som det ses af ovenstående tabel så oplever strækning 1 en stigning i shear stress mens de 2 øvrige strækninger, 2 og 3, oplever fald. Dette betyder at strækning 1 kan transportere større sediment typer end før mens der for strækning 2 og 3 er tale om et fald i størrelsen på sedimentet der kan flyttes. Der kan nævnes en vis sammenhæng med Shields parameter fra teori afsnittet idet begge størrelser beskæftiger sig med hvor store sedimenttyper et vandløb kan transportere.

Nedenstående tabel viser hvilke tal de forskellige sedimenttyper kræver for at blive sat i bevægelse.

Sediment Composition	N/m^2
Quartz sand 0,2-0,4 mm	1,8-2,0
Quartz sand -0,2 mm	4,0
Coarse sand mixture	6,0-7,0
Compact bedded sand and fine grained gravel	8,0-12,0
Loamy gravel (noncohesive)	15-20
Coarse quartz gravel 4-5 cm	44
Platy limestone fragments 1-2 cm thick, 4-6 cm long	50

[Mangelsdorf 1990]

Det sediment som der er observeret i Skamlebækken efter restaureringen er Coarse quartz gravel. Der skal altså være en shear stress på omkring 44 N/m^2 for at disse sedimenttyper flyttes. Idet den største værdi der observeres i vandløbet efter restaureringen der lige under 25 N/m^2 må det vurderes at der ikke vil foregå transport af bund sedimentet. Derimod vil der sikkert være tale om deposition af mindre sediment typer imellem det nuværende bundsediment.

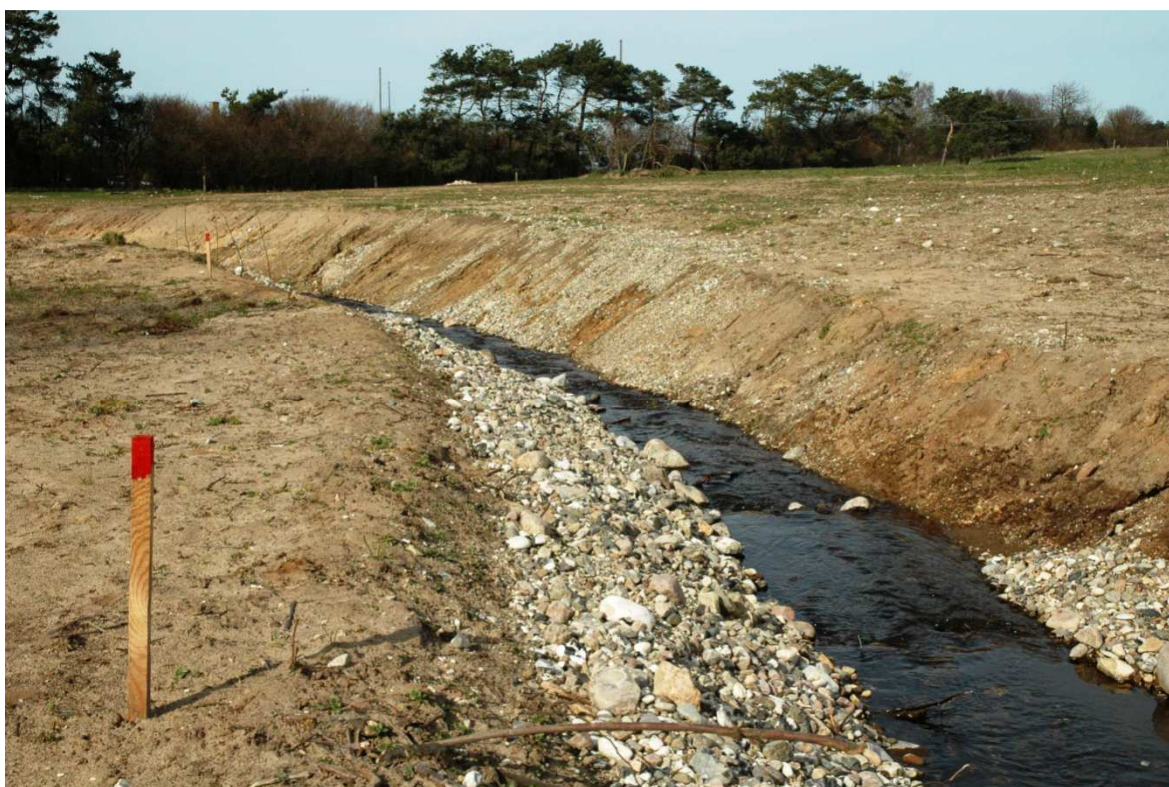
5.2 Delstrækninger

I det følgende vil den udvikling, som hver enkel strækning har gennemgået, blive analyseret. Dette sker for at specificere de ændringer, restaureringen har skabt ned til den enkelte strækning.

Ydermere så er der på graferne i det foregående afsnit observeret, at de forskellige strækninger ikke er helt ens efter restaureringen. Et eksempel på dette er, at den gennemsnitlige dybde for strækning 1 stiger med 2 cm, hvorimod den for strækning 2 og 3 falder med tilsvarende to cm.

5.2.1 Strækning 1

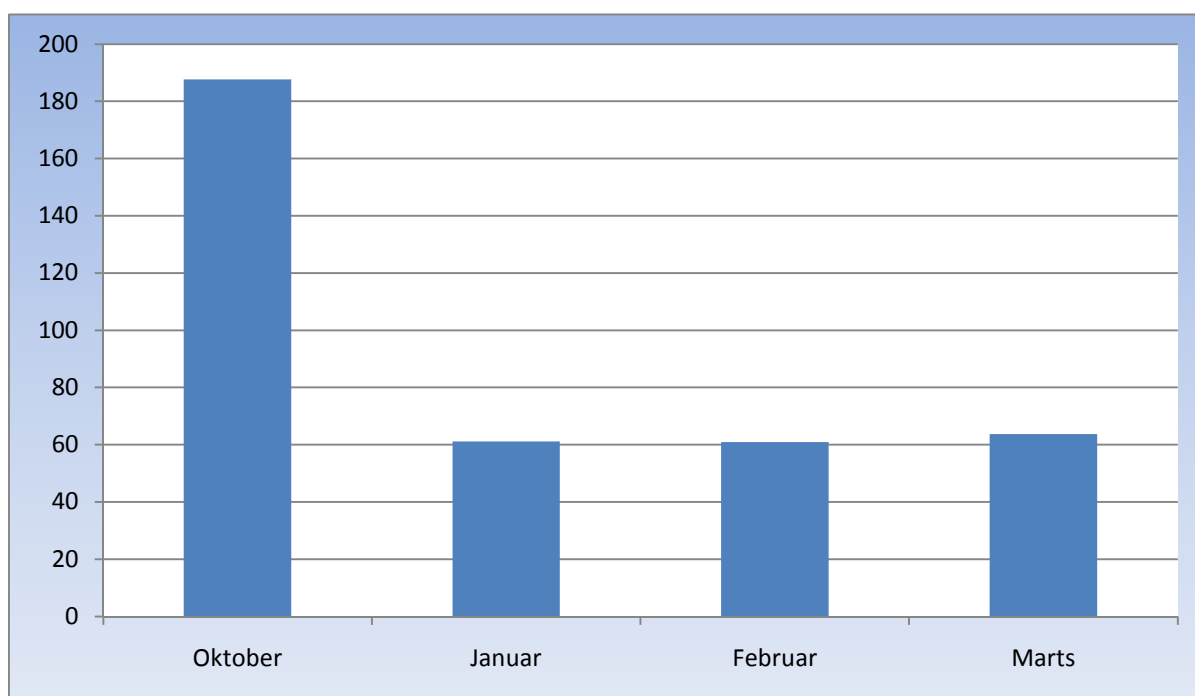
Den nordligst beliggende strækning, der ses på, og dermed den strækning, der ligger mest nedstrøms, er strækning 1. Strækningen som den så ud efter restaureringen kan ses på nedenstående figur 38.



Figur 38: Strækning 1 efter restaurering.

Det stykke, der måles på, er udstykket med de 2 landmåler pæle, der ses på figur 38. Som nævnt tidligere i dette afsnit, så har strækning 1 gennemgået en stor ændring med restaureringen. Disse ændringer er blandt andet en kraftig ændring i både bredde og dybde, med resulterende ændring i den gennemsnitlige vandstrømning.

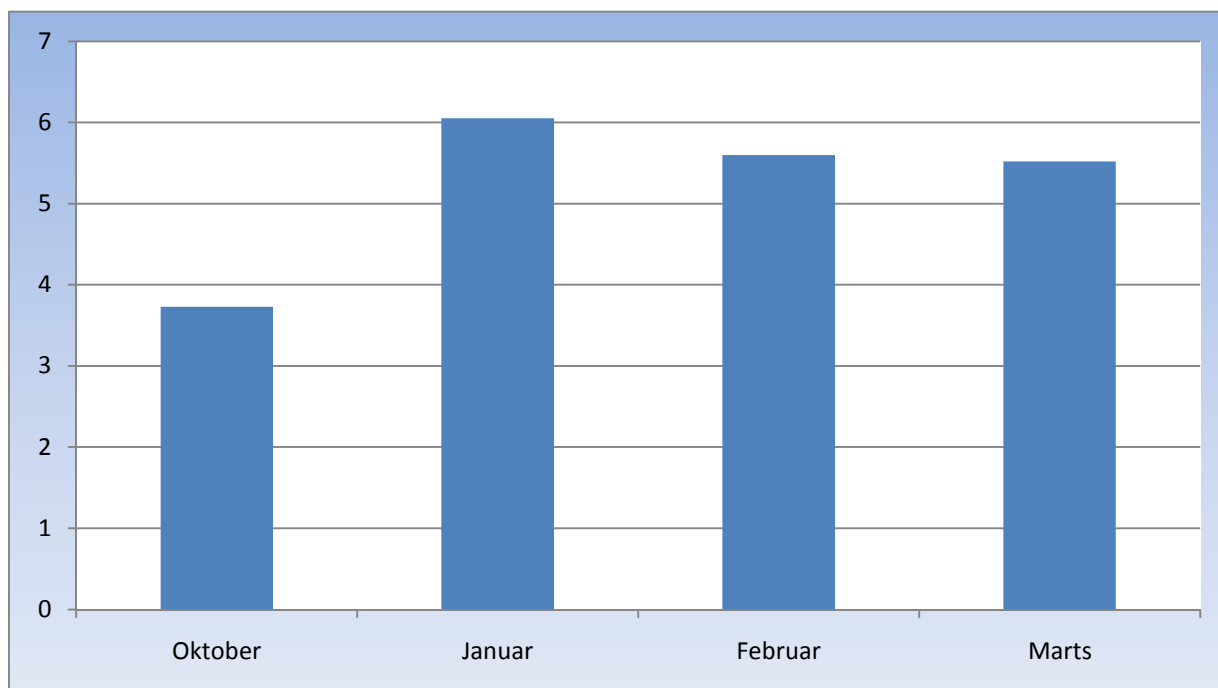
Som det ses på nedenstående figur 39, så oplever strækning 1 et særdeles kraftigt fald i den gennemsnitlige bredde på omkring 130 cm. Bredden bliver reduceret til en tredjedel af det, den var før restaureringen. Dette kan ikke andet end resultere i store ændringer for de leveforhold, der er i vandløbet med følgende forandring i den økologiske kvalitet. Forandringen i forbindelse med denne ændring vil være en mere uniform vandstrømning og dermed et mindre bredt spektrum af levevilkår. Dette burde resultere i en lavere mængde af arter i vandløbet. At den ændrede bredde er en stor forandring, kan også ses ved at sætte den op i forhold til den ændring, som referencestrækningen oplever på omkring 10 cm i gennemsnit over hele perioden. Som det ses på de følgende måneder efter restaureringen, så ændres den gennemsnitlige bredde ikke yderligere. Dette indikerer, at den sedimentation, der foregår, ikke kommer fra en erosion i siderne. Det er altså umiddelbart lykkedes at stabilisere dette stykke af det nye løb.



Figur 39: Strækning 1 Gennemsnitlig bredde (cm/måned)

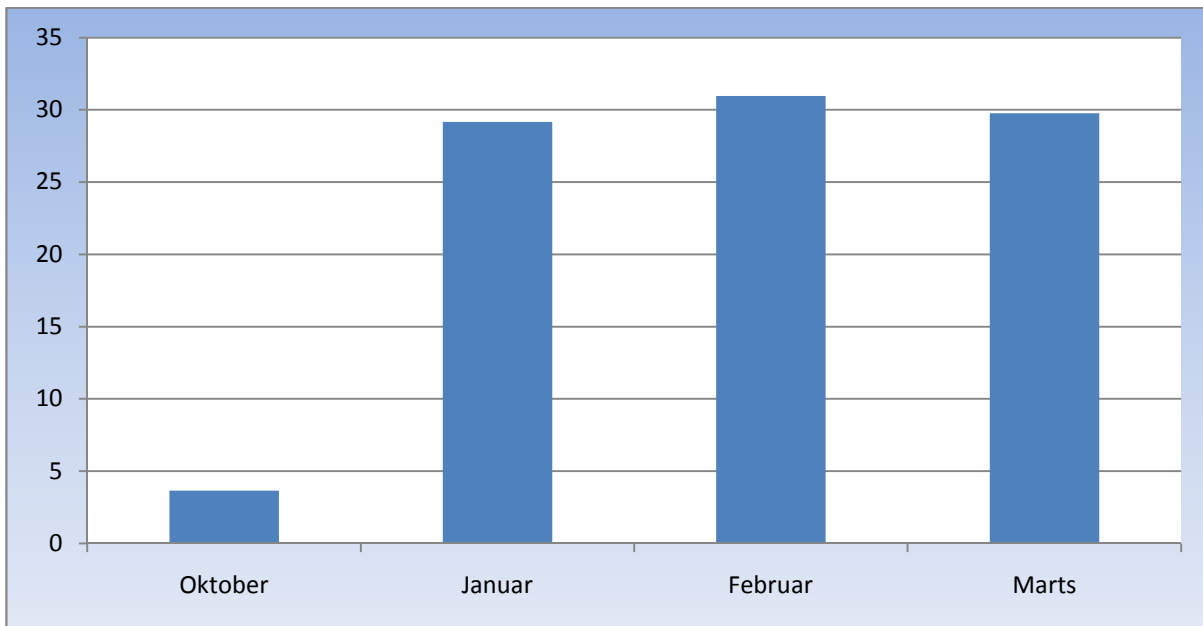
Også dybden i strækning 1 oplever store ændringer ved restaureringen. Som det observeres på figur 40 er der en stigning i den gennemsnitlige dybde på over 2 cm. Dette er en stigning på 50 % i forhold til den oprindelige gennemsnitlige dybde på lidt under 4 cm. Selv om dette er en stor stigning i den gennemsnitlige dybde, så er det dog ikke en ændring, der er forholdsvis lige så stor som den, der observeres i bredden. Så det vurderes ikke, at denne faktor har den samme indflydelse på eventuelle ændringer i den økologiske kvalitet af vandløbet. En anden indikator på at denne

ændring ikke vil have samme indflydelse som breddens reduktion, er, at der ses lignende udsving, faktisk en smule større, i den gennemsnitlige dybde for referencestrækningen.



Figur 40: Strækning 1 Gennemsnitlig dybde (cm/måned)

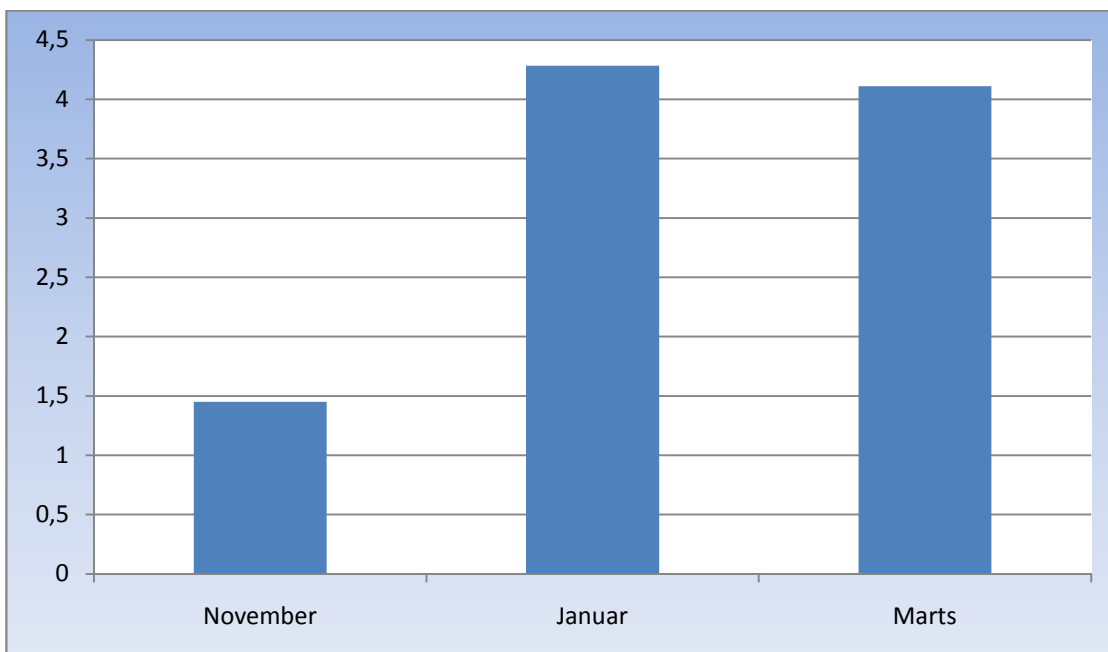
Nedenstående figur 41 viser resultaterne af de ændrede fysiske parametre for strækning 1, på den gennemsnitlige vandføring. Som det sås på det overordnede billede på figur 30, så er der sket store ændringer i denne faktor for hele den restaurerede strækning. Denne tendens gælder også for strækning 1 som det kan ses på figur 41. Den gennemsnitlige vandstrømning stiger fra omkring 4 cm/s og op til 28 cm/s i januar. Efter restaureringen kan det ses, at den gennemsnitlige vandføring ligger relativt stabilt, dog med et fald fra februar til marts, der kan forklares med den generelt lavere vandføring, som der ses på figur 28. En stigning som den nævnte kan ikke undgå at ændre vandløbets økologiske kvalitet drastisk.



Figur 41: Strækning 1 Gennemsnitlig vandstrømning (cm/s)

Nedenstående figur 42 viser den udvikling som strækning 1 gennemgår mht. evnen til at transportere sediment, altså stream power. Som det ses så stiger denne faktor kraftigt på dette stykke af strækningen. Dette skyldes mest den store reduktion af bredden som dette stykke af åen fik ved restaureringen. Ud fra nedenstående figur kan det altså konkluderes at her er åens evne til at transportere sediment blevet næsten tredoblet.

Dette vil have en særdeles stor indflydelse på vandløbets økologiske status og den morfologiske stabilitet på strækning 1.



Figur 42: Strækning 1 Streampower

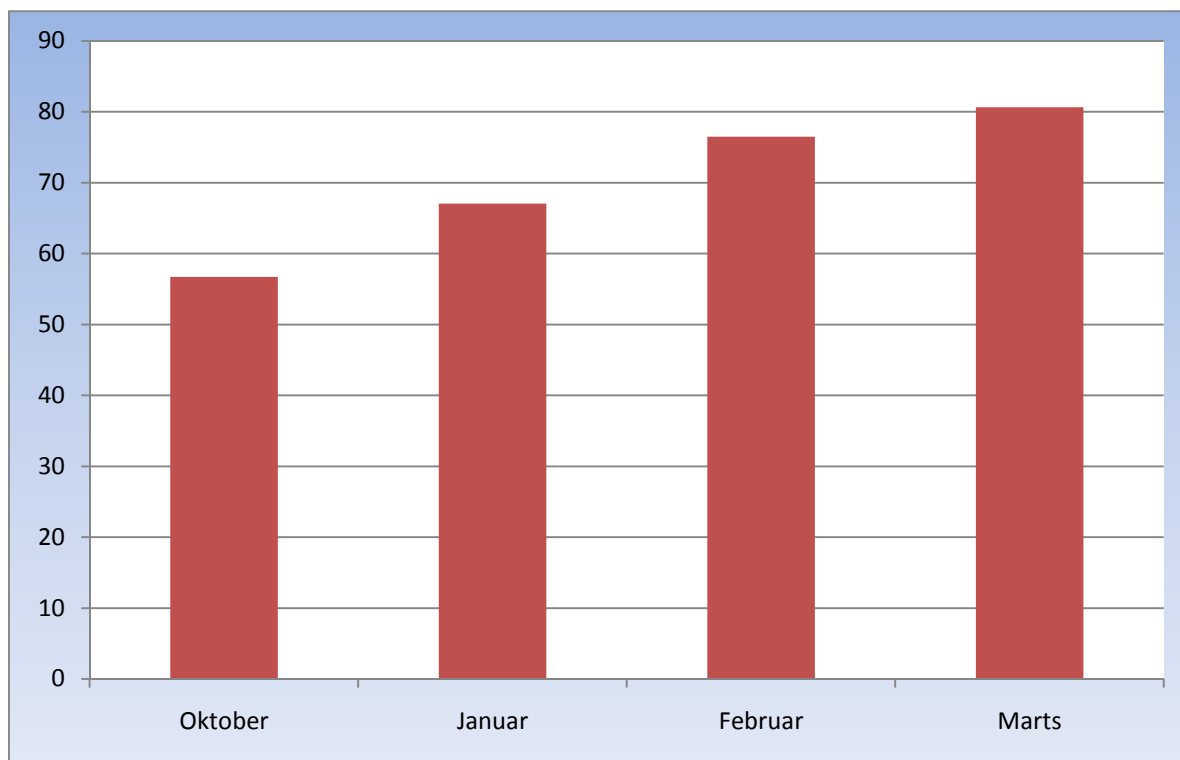
5.2.2 Strækning 2

Strækning 2 er den midterste af de 3 restaurerede strækninger, placering ved punkt C på kortet på figur 12, og udseendet kan ses af nedenstående billede, figur 43. Igen er den målte strækning markeret af med landmåler pæle.



Figur 43: Strækning 2 efter restaurering.

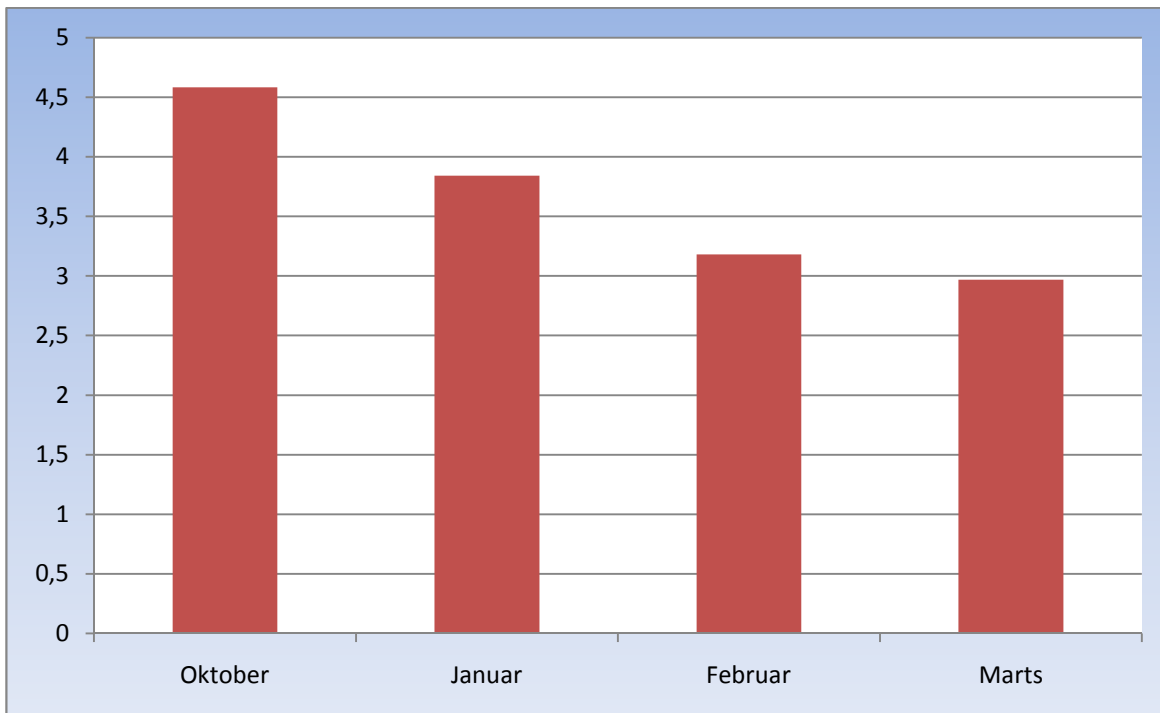
Strækning 2 er også ændret af restaureringen. Dog er ændringen, som det ses af de nedenstående grafer, ikke så stor som den, der er observeret for strækning 1. Ud over at de observerede ændringer ikke er så store, så er der også sket ændringer i andre retninger. Dette fremgår fx fra figur 44, der viser, at den gennemsnitlige bredde for strækning 2 bliver øget med 10 cm efter første måling og derefter stiger jævnt gennem undersøgelsesperioden til en samlet stigning på omkring 25 cm. Dette er både et tegn på at ændringen her ikke er så stor, men også at dette stykke af det restaurerede stykke måske ikke er i balance og derfor eroderer videre. Strømmen transporterer altså løst materiale fra brinkerne med sig. Dette er en naturlig del af et vandløb, men at bredden stiger gennemsnitligt med op til en tredjedel af den samlede bredde over en seks måneders periode er næppe udtryk for, at denne strækning er i balance.



Figur 44: Strækning 2 gennemsnitlig Bredde (cm/måned)

Den gennemsnitlige dybde for strækning 2 ændrer sig også, men i modsætning til det, der ses på strækning 1, så oplever strækning 2, som det fremgår af figur 45, et fald i den gennemsnitlige dybde over perioden. Det største fald i gennemsnitsdybden sker faktisk ikke under restaureringen, men i perioden efter åbningen af vandløbet. Nemlig fra januar til februar. Dette kunne eventuelt være et tegn på, at den erosion, der ses på strækningens brinker, ikke kommer længere end samme strækning bundsediment, og dermed resulterer i en fladere profil.

Den lavere profil kunne også være resultatet af den udlægning af fint grus, der bliver foretaget efter restaureringen. Denne finder dog først sted mellem februar og marts, og idet det største fald i gennemsnitsdybden finder sted mellem januar og februar, er det efter al sandsynlighed både sedimentering og udlægning af grus, der spiller ind på den lavere gennemsnitlige dybde.

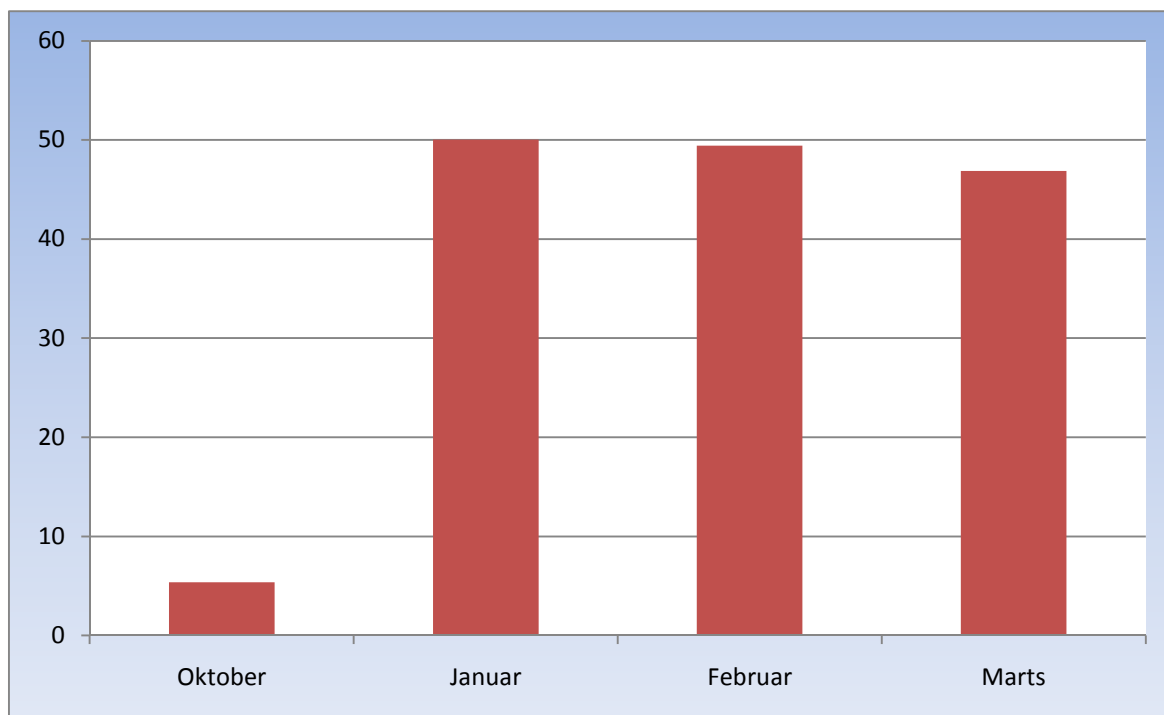


Figur 45: Strækning 2 Gennemsnitlig dybde (cm/måned)

De 2 tidligere grafer har vist, at strækning 2 også gennemgik en stor ændring ved restaureringen. Dog ser det umiddelbart ud til, med den mindre ændring på gennemsnitsbredden, at strækningen ligger tættere på den situation, der var før restaureringen end strækning 1.

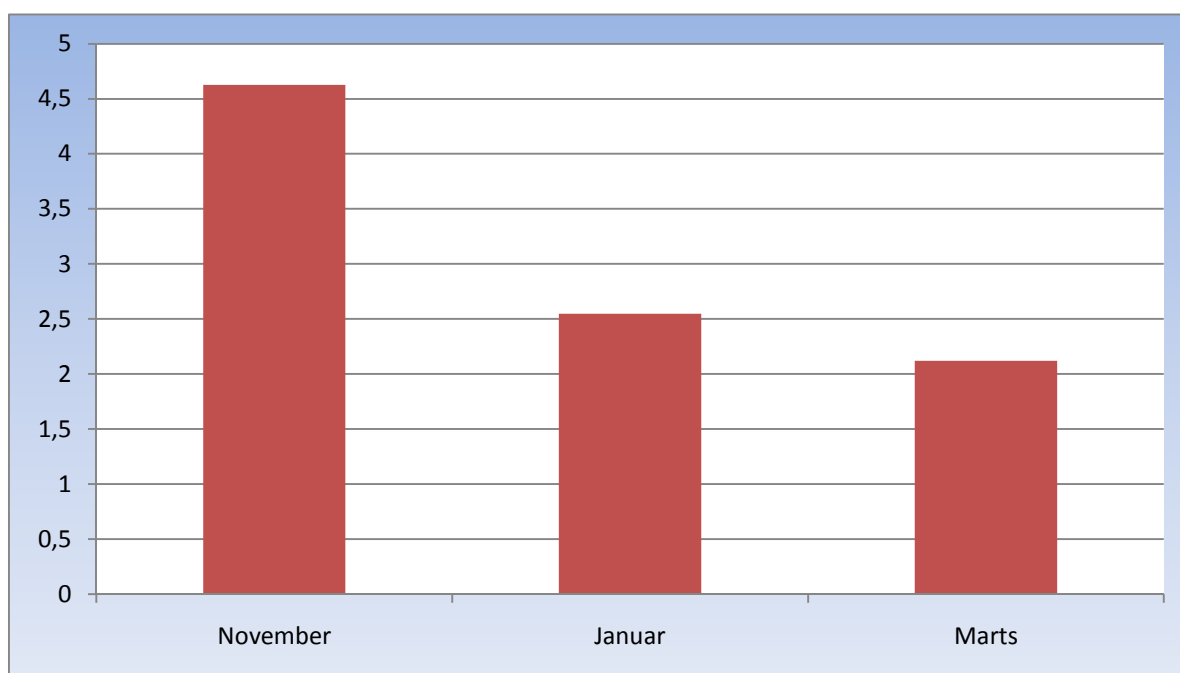
Derfor er det også en overraskelse at resultatet af ændringerne i de fysiske forhold er en endnu større stigning i den gennemsnitlige vandføringshastighed. Strækning 2 oplever en stigning fra omkring 5 cm/s og helt op til ca. 50 cm/s. Efter den store stigning som resultat af restaureringen kan det ses, at vandføringen falder svagt. Dette kan være resultatet af den svagere vandføring som figur 46 viser.

Strækning 2 oplever altså en endnu større ændring end den, der ses for strækning 1. Det kan derfor postuleres, at hvis den ændring, som strækning 1 oplever, ændrer den økologiske kvalitet, så vil samme ændring være endnu mere udpræget i strækning 2.



Figur 46: Strækning 2 Gennemsnitlig vandstrømning. (cm/s)

Som nedenstående figur 47 viser, så er resultatet af restaureringen for strækning 2, at vandløbets evne til at transportere sediment på denne strækning er blevet mere end halveret. Lige som for strækning 1 kan man konstatere, at dette vil have stor betydning for den økologiske status i vandløbet. Dette vurderes at hænge sammen med, at bredden er øget og vandtransporten er faldende.



Figur 47: Strækning 2 stream power (wat/m²)

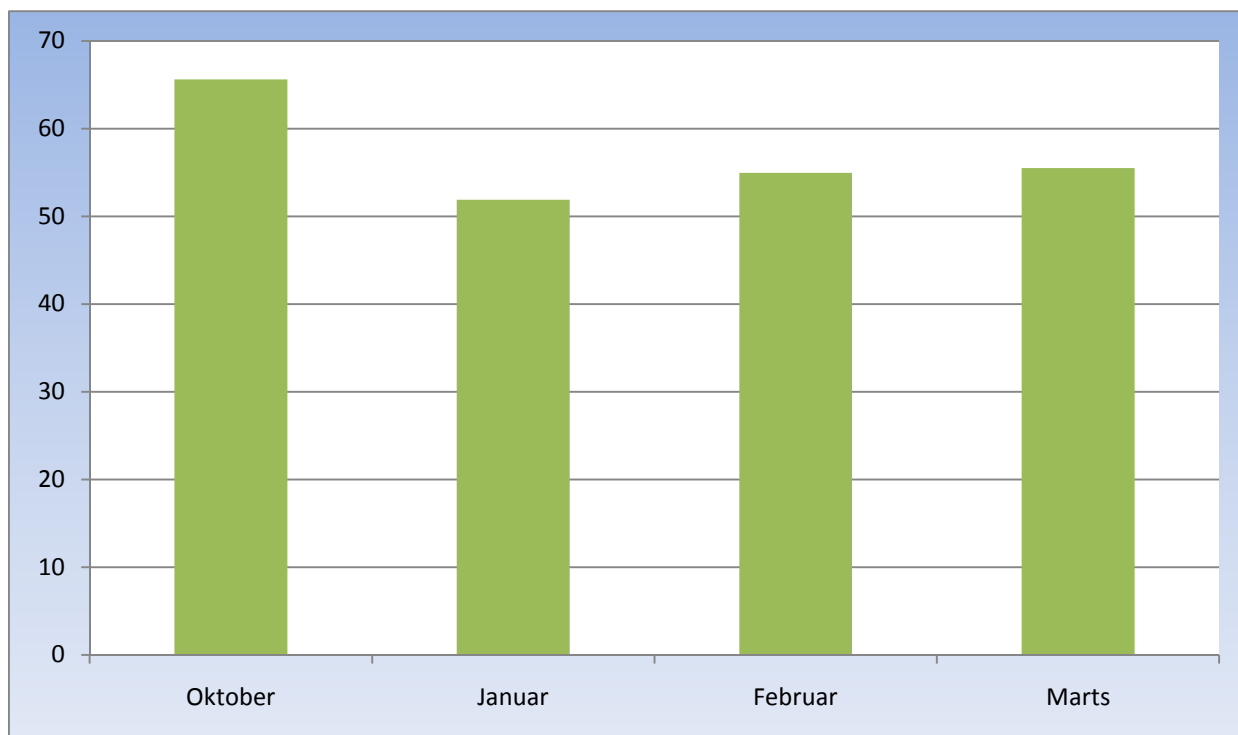
5.2.3 Strækning 3

Strækning 3 er den strækning, der ligger sydligst på det restaurerede stykke, og dermed den der ligger mest opstrøms og tættest på mølledammen. Netop den forhøjning, som mølledammen ligger på den anden side af, kan spottes i baggrunden af nedenstående billede, figur 48. Som på de 2 foregående billeder er det afmærkede stykke der, hvor opmålingerne til tværsnitsprofil er foretaget.



Figur 48: Strækning 3 efter restaureringen.

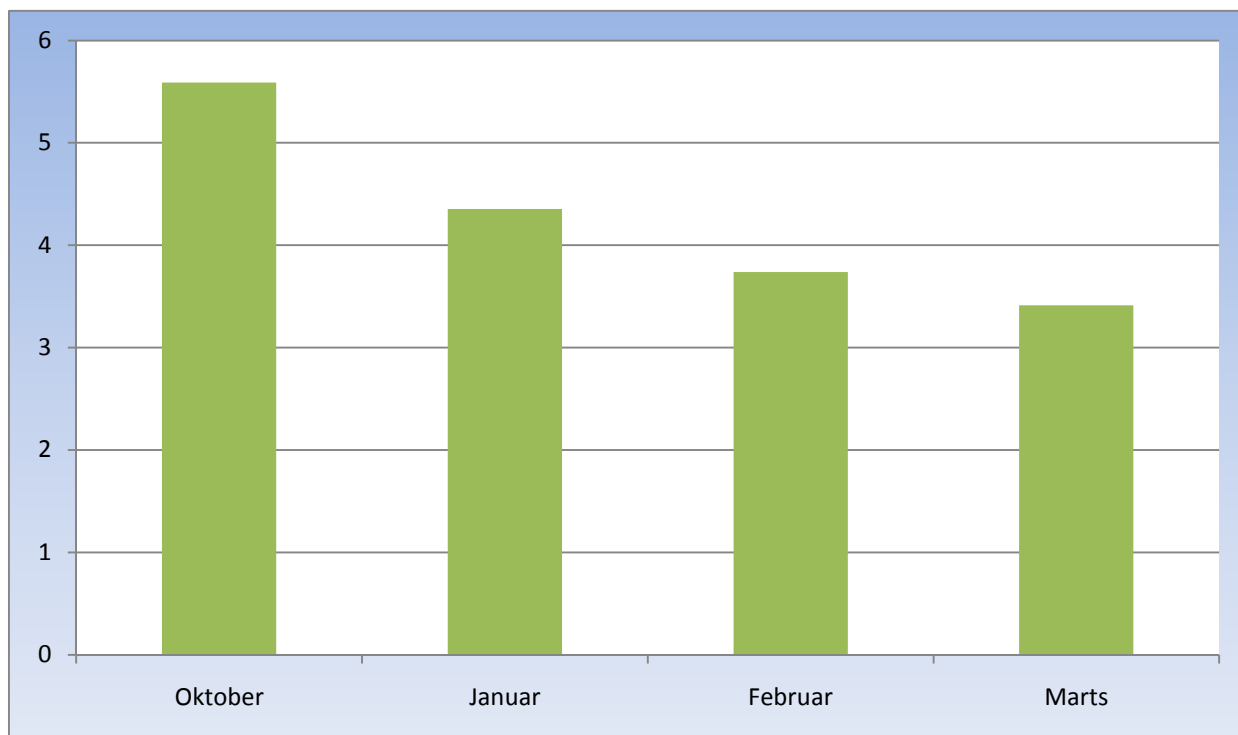
Strækning 3 oplever som de øvrige to restaurerede strækninger ændringer i de fysiske parametre. For strækning 3 gælder den samme tendens, som der observeres for strækning 1, dette fremgår af figur 49. Denne ændring er dog med sine ca. 15 cm ikke i nærheden af at være lige så stor, som det er ses for strækning 1. Efter restaureringen øges den gennemsnitlige bredde igen svagt, men ser dog ud til at være relativt stabil fremefter. Dette bygges på, at den samlede ændring over de 3 måneder er på ca. 5 cm.



Figur 49: Strækning 3 gennemsnitlig bredde (cm/måned)

Den ændring, der kan observeres ved dybden, figur 50, er dog mere markant. Her deler strækning 3 træk med strækning 2 og oplever et samlet fald i gennemsnitsdybden på de samme 2 cm som strækning 2.

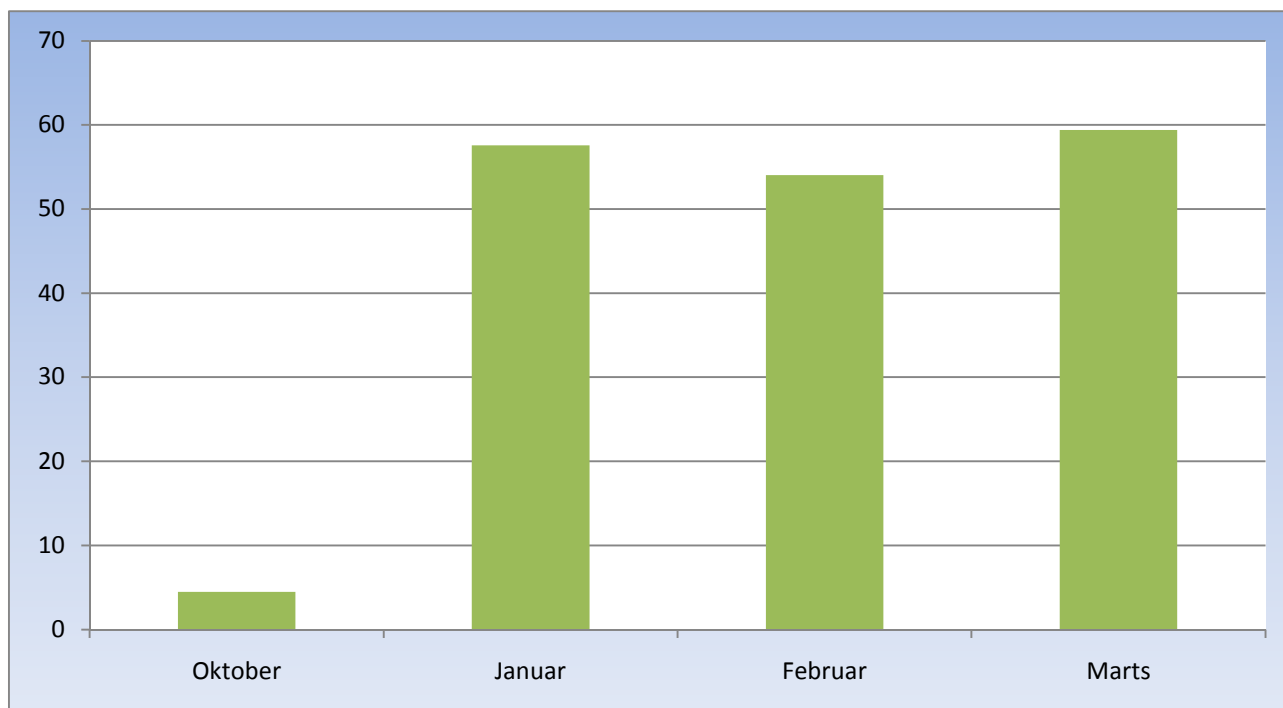
Der er ligesom strækning 2 tale om en udvikling, der strækker sig over hele undersøgelsesperioden, og den dækker derfor efter al sandsynlighed over både en naturlig sedimentation af bunden og udlægning af grus fra menneskelig side. Men idet der her kan observeres en faldende bredde, sammenhængende med en faldende dybde, peger dette i retning af, at det fald i gennemsnitsdybden, der observeres i både strækning 2 og 3, skyldes mere sedimentation fra længere oppe i vandløbet og ikke som tidligere nævnt, eventuel sedimentation fra brinkerne i de undersøgte strækninger.



Figur 50: Strækning 3 Gennemsnitlig dybde (cm/måned)

Idet der for strækning 3 kan observeres både formindsket gennemsnitlig bredde og dybde tyder det på, at der netop på denne strækning er sket den største stigning i gennemsnitsvandstrømningen for hele undersøgelsen.

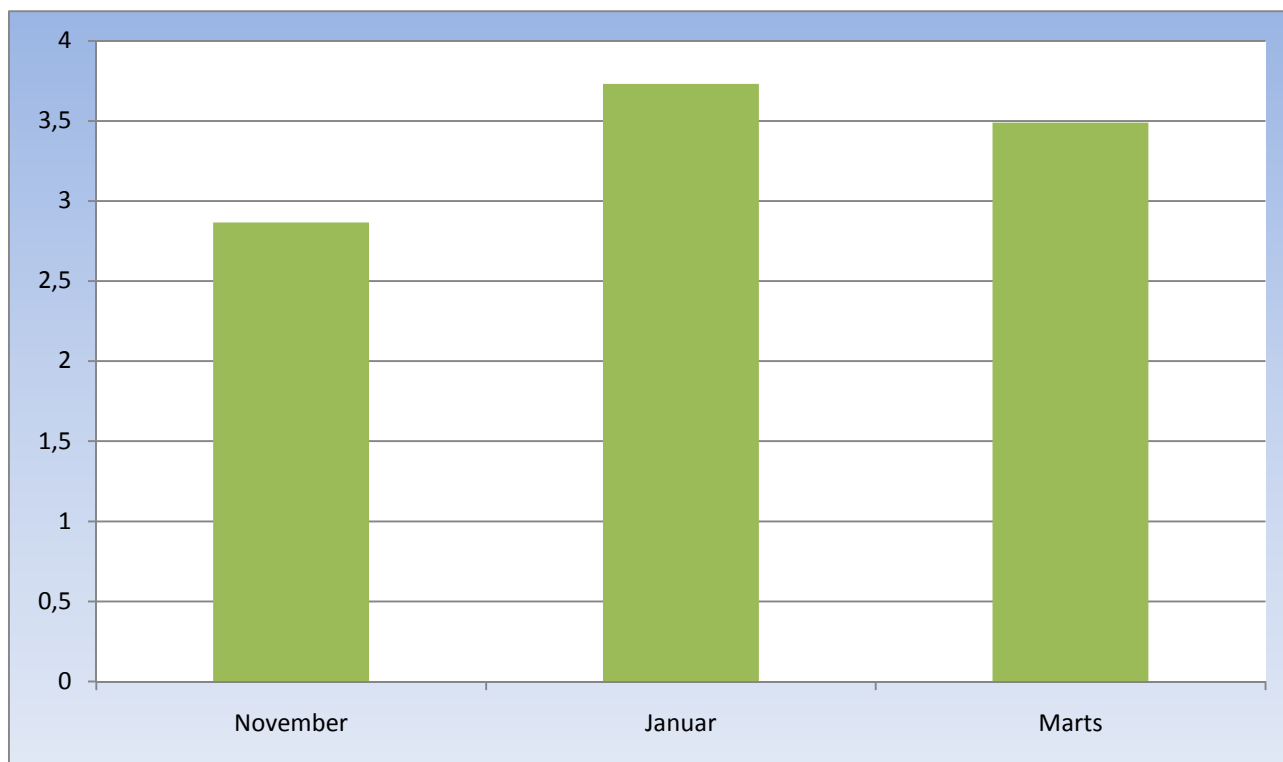
Som det ses på figur 51 er dette også tilfælde. Med en stigning fra omkring 4 cm/s og til 57 cm/s er der tale om en 14-dobling af vandstrømningen. Og igen kan der drages linjer til den tidligere postulerede ændring i den økologiske kvalitet som følge af øgede strømforhold. Hvis ændringen holder stik på de to tidligere strækninger, så bør samme ændring vise sig i strækning 3 med større styrke.



Figur 51: Strækning 3 gennemsnitlig vandstrømning. (cm/s)

De ændringer, der kan observeres i de 3 strækninger, følger altså den samme tendens med kraftige stigninger i vandstrømningen. Denne stigning bliver endnu større, når man ser den i forhold til det generelle fald i vandføringen, som figur 52 viser Skamlebækken gennemgår i undersøgelsesperioden.

Sammenlignet med det udsving, som der kan ses på reference strækningen i samme periode, virker stigningerne også særdeles dramatiske.



Figur 52: Strækning 3 stream power (wat/m²)

Lige som det bliver observeret for strækning 1, så oplever strækning 3 en stigning i stream power. Stigningen er dog ikke så voldsomt, som det er tilfældet i strækning 1. Som det fremgår af figuren så stiger stream power fra november til januar som resultat af restaureringens ændringer i vandløbets form. Fra januar til marts observeres der et fald som kan skyldes den samlede faldende vandtransport i vandløbet.

5.2.4 Reference

Reference strækningen blev som nævnt oprettet for at sikre, at det ville være muligt at skille variationer af sæsonmæssig varians fra de variationer som skete som resultat af restaureringsprocessen. Nedenstående billede, figur 53, viser den strækning, som der er foretaget målinger på. Igen er strækningen markeret med to landmåler pæle. Den nederste kan ses forrest i billedet, mens den øverste er at skimte i øverste højre hjørne af billedet. Som det ses af billedet, ligger strækningen inde i en lille skov, og som nævnt tidligere i teori afsnittet resulterer dette i et bredere løb, end hvis strækningen havde været afsat på en græs bevokset eng eller lignende område bevokset med en vegetation med et tæt rodnet. Dette hænger dog sammen med, at de restaurerede dele af Skamlebækken før restaureringen også lå i et bevokset stykke. Så for at opnå den bedste sammenhæng er denne strækning udvalgt.

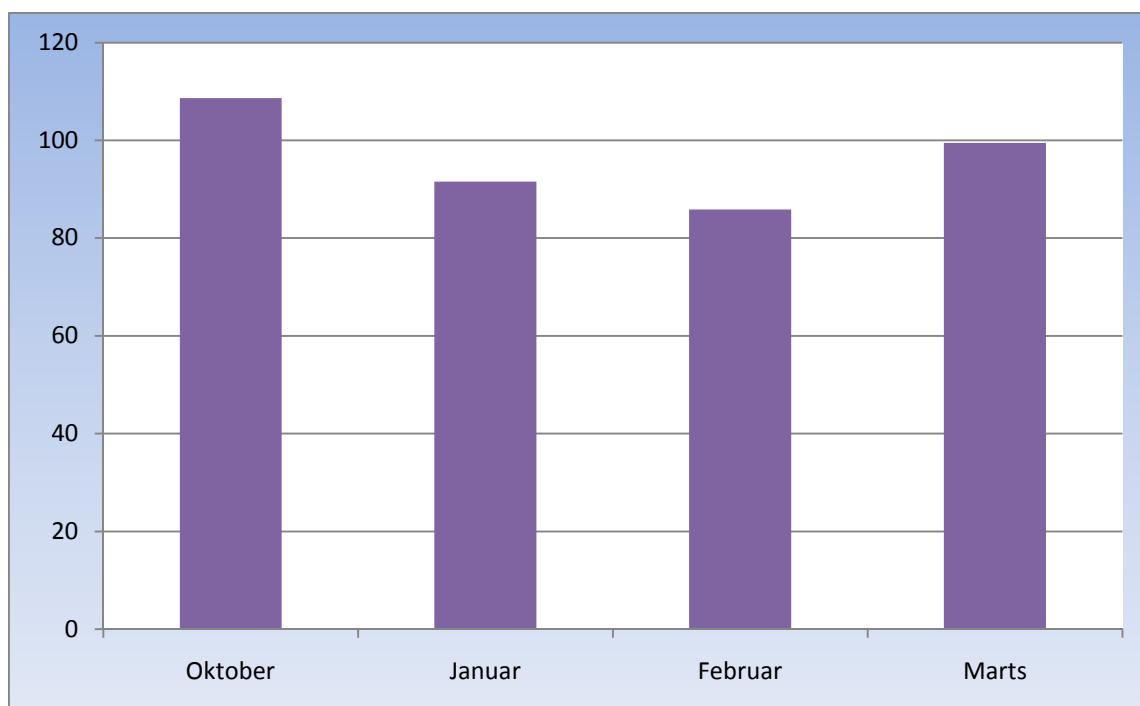


Figur 53: Reference strækning i oktober

Idet hele formålet med reference strækningen er at fastlægge de naturlige sæsonmæssige variationer, som Skamlebækken er udsat for, vil de ændringer, der observeres i følgende datarække ikke være påvirket af menneskelig aktivitet.

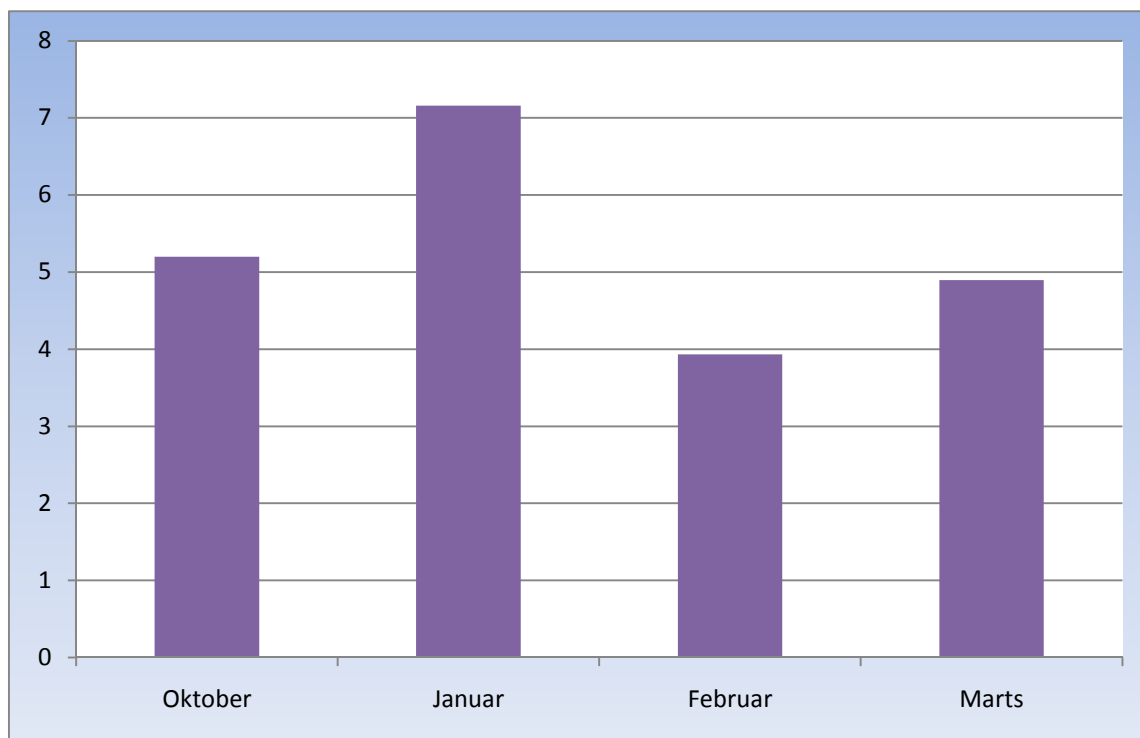
Det fremgår også klart af figur 25, 26 og 27, at de ændringer, der kan observeres på reference strækningen slet ikke har størrelse som i de restaurerede stækninger. Ydermere kan det ses, at de ændringer, der er tale om her, mere drejer sig om svingninger omkring et udgangspunkt. Denne tendens kan være øget af, at der er taget målinger forskellige steder i reference strækningen gennem undersøgelsesperioden.

Bredden ser ud fra figur 54 ud til at ligge omkring 90 cm i gennemsnittet med udsving på ca. 10 cm i begge retninger, alt efter hvordan sedimentationen opføre sig i vandløbet på de forskellige tidspunkter.



Figur 54: Reference strækning gennemsnitlig bredde. (cm/måned)

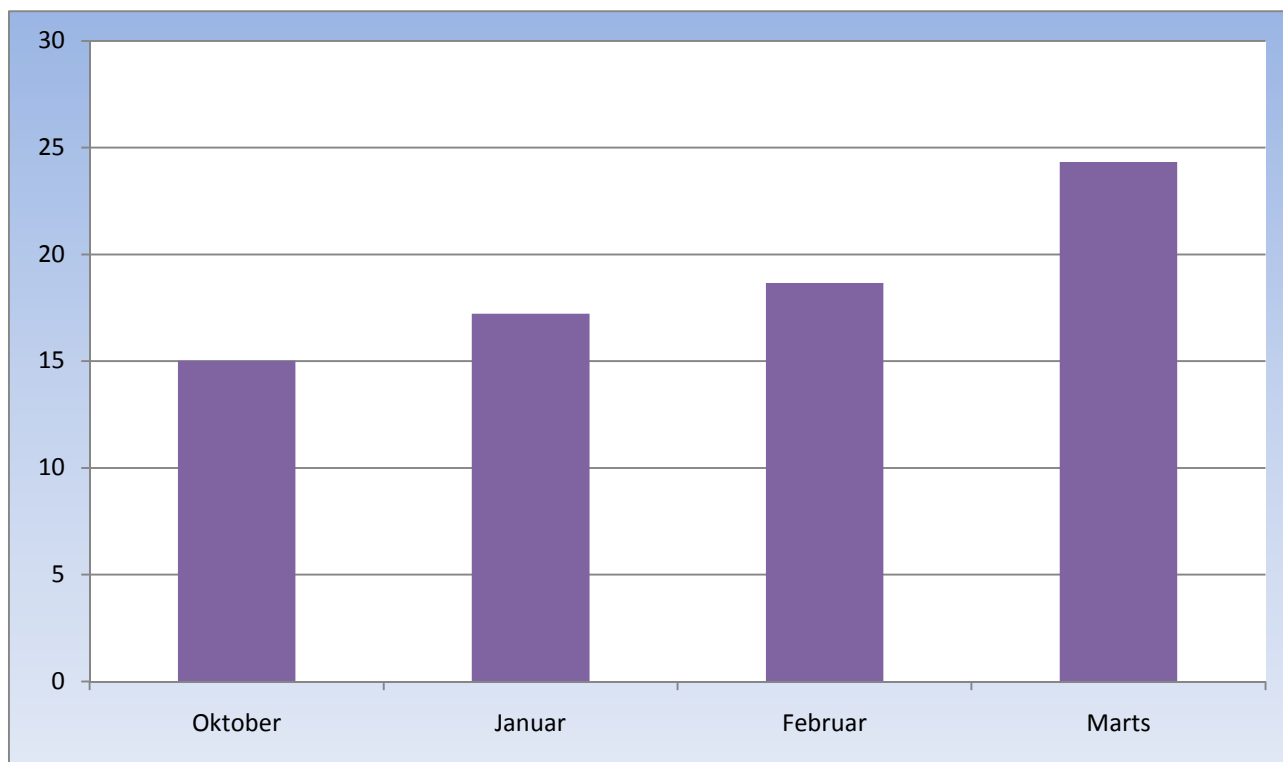
Dette er også en tendens, der går igen i dybden. Også her er der tale om variationer, der svinger omkring et medium på omkring 5 cm og med udsving på ca. 2 cm i hver retning igen som følge af sedimentation.



Figur 55: Reference strækning gennemsnitlig dybde. (cm/måned)

Figur 54 og 55 viser den fysiske udvikling som reference strækningen gennemgår over perioden. Det er værd at nævne, at selvom der er udsving gennem perioden, så er de sidste målinger tæt liggende på det, der blev observeret før restaureringsprojektet blev startet.

Med dette for øje ville man forvente en uændret vandstrømning, eller set i forbindelse med figur 28 faldende vandføring, et generelt fald i vandstrømningen. Men set ud fra figur 56, der viser denne udvikling for referencestrækningen, så er dette ikke tilfældet.



Figur 56: Reference strækning gennemsnitlig vandstrømning. (cm/s)

Derimod sker der en stigning i vandstrømningen fra 15 cm/s til 24 cm/s. Der er altså tale om en stigning på 9 cm/s, hvad der svarer til en 60 % stigning i vandstrømningen på det uændrede løb. Der er altså en størrelse ud over bredde, dybde og vandføring, der spiller kraftigt ind på vandstrømningen. For reference strækningen kan denne ændring forklares med et fald i plantebevoksningen i vandløbet. Jo færre planter i vandløbet, jo hurtigere vil den gennemsnitlige vandstrømning være. Og ud fra de ændringer, der er observeret, kan det konstateres, at denne faktor har en særdeles stor betydning.

Der har desværre ikke været data til at finde stream power for referencestrækningen. Men idet bredden i denne strækning har været stabil, og vandtransporten faldende, vurderes det, at stream power er faldet. Dette underbygges yderligere ved, at der i bundsediment sammensætningen observeres en stigende andel af mudder. Hvis stream power var ens eller stigende, så ville denne andel falde. Men netop den stigende andel mudder viser, at det modsatte sker. Stream power falder altså med opmagasineret af fint sediment som følge.

6. Diskussion

Som udgangspunkt for en restaurering vil man umiddelbart altid se det som en positiv ting for et vandløb at blive restaureret. Dette bunder i, at danskerne gennem tiden har tilpasset størstedelen af vores vandløb. Så ud fra tesen om, at hvis noget påvirket bliver ført tilbage mod den oprindelige status ved en restaurering, så er det positivt.

Det, at der ikke blev foretaget undersøgelser af Skamlebækkens tilstand fra kommunal side før restaureringen, tyder på, at der også fra kommunal side i denne sag har været tale om den opfattelse, at al restaurering er positiv. Og det skal da også nævnes, at det faktum, at de 75 meter af det gamle løb, der lå i rør, er blevet frilagt, er en positiv udvikling for habitatet. Der er altså kommet 75 meter til, der kan virke som levested for livet i vandløbet, og dette er som nævnt positivt.

Spørgsmålet er om dette og den udvikling, der muligvis sker i det restaurerede vandløb, er grund nok til at restaurere et grundlæggende sundt vandløb med høj kvalitet og et rigt liv.

I den forbindelse må det vurderes, at hvis ikke der havde været oversvømmelsesproblemer for husene langs Skamlebækken, så havde sandsynligheden for at netop Skamlebækken var blevet restaureret, og ikke et andet vandløb, sikkert været en god del lavere.

Fortsat fra afslutningen af sidste afsnit kan man sige, at netop det faktum, at vandstrømningen falder, gør, at der mangler et aspekt af undersøgelsen af vandløbet. I den periode, hvor der er blevet indsamlet data, har jeg ikke observeret en høj vandstrømning, der evnede at ændre vandløbets form. Dette er nødvendigt for at dække alle aspekter af vandløbet og for at kunne vurdere, om vandløbet er i balance eller ej. Derimod kan det ud fra billeder af vandløbet skønnes, at når denne vandstrømning opstår, så vil det varsle store ændringer for vandløbet.



Figur 57: Skamlebækkens brinker

Som ovenstående billede, figur 57, viser, så er Skamlebækkens brinker bestående af sand og særdeles stejle. Selve vandløbet løber i en stenkiste i bunden. Med stenkiste menes, at siderne og bunden af det våde område er foret med sten for at forebygge erosion. I forbindelse med en kraftigt forøget vandstrømning vil vandet stige op over kanterne på stenkisten og komme i kontakt med de ubeskyttede brinker. Denne situation er illustreret på de følgende to figurer:



Figur 58: Skamlebækken normalt vandniveau

Ovenstående figur 58 viser den normale situation i Skamlebækken. Vandet flyder i stenkisten og den eneste erosion, der foregår, er i det relativt stabile bundsediment. Dette billede viser et vandløb i balance med denne vandstrømning.

Ovenstående situation varer indtil, der kommer en periode med voldsom nedbør i Skamlebækkens opland. Nedbøren rammer de omkringliggende marker og gennem overfaldestrømning og gennem de øverste grundvandsmagasiner når vandet frem til Skamlebækken, med resulterende kraftigt forøget vandstrømning.



Figur 59: Skamlebækken højt vandniveau

Figur 59 viser situationen i Skamlebækken under det nævnte højere vandniveau. Vandet stiger op til over kanten af stenkisten og kommer i kontakt med brinkernes sand. Dette medfører en kraftig erosion i siderne og vil følgende være med til at destabilisere siderne. Denne destabilisering gælder også for stenkisten, så dennes sider eventuelt falder sammen og sænker det vandniveau, som Skamlebækken kan håndtere uden kraftigt forøget sedimentation.

Ved ovennævnte situation vil der komme store mængder sediment ud i vandløbet, og brinkerne vil erodere med følgende muligheder for at dele af brinkerne falder sammen og ned i vandløbet. Dette vil igen resultere i store mængder sediment i vandløbet og en forringet økologisk tilstand.

En måde at forebygge denne situation og undgå erosionen af brinkerne, ville være at etablere bevoksning på brinkerne før næste gang, der forekommer en maksimal situation med hensyn til nedbør. I denne sammenhæng kunne man eventuelt benytte sig af forskellige græsarter. Som nævnt tidligere i teoriafsnittet vil netop græsarter være med til at holde på brinkerne og stabilisere dem i tilfælde af en maksimumssituation for nedbøren.

Nedenstående billede viser et forsøg på at stabilisere brinkerne med buske, Dette er et skridt i den rigtige retning, dog vil græsvækst ifølge teorien være et endnu bedre bud på stabiliserende bevoksning.



Figur 60: Bepantning af Skamlebækkens sider

Som det ses, så var Skamlebækkens sider tilgroet med buskads og træer. Disse træer havde med deres skygge og tilførslen af biologisk materiale i form af blade, en stor betydning for det liv, der dengang fandtes i Skamlebækken. Netop det store biologiske tilskud gjorde, at der var et større antal invertebrat arter, end hvad man ellers ville kunne forvente af et vandløb af denne størrelse. Der var altså mad i så store mængder, at der var grundlag for en større artsdiversitet, end hvad normen er for vandløb af Skamlebækkens størrelse.

Hvis billederne af de nye strækninger af Skamlebækken studeres nærmere, vil man se, at disse træer ikke længere er der. Så ud over at man har gravet et nyt løb, har man fjernet de træer og buske, som skabte nogle af de vilkår, der udgjorde Skamlebækkens habitat. Hvis det ønskes at opnå Skamlebækkens gamle situation, og ikke kun skabe et mere naturligt løb, så vil det kræve, at disse bevoksninger vender tilbage.

Og medmindre der plantes ældre vækster ved kanterne, så er der tale om en længerevarende proces og en lang tidsramme, før bevoksningen omkring vandløbet når i nærheden af at levere den samme mængde skygge og tilskud af biologisk materiale som før restaureringen.

Et andet sted, hvor en lang tidsramme vil gøre sig gældende, er med hensyn til livet i vandløbet. Selvom der stadig er tilstrømning fra mølledammen, og selv om visse af arterne vil komme til åen gennem luften. Så vil det tage en vis tid før faunaen kommer op i nærheden af det niveau, der blev observeret i vandløbet før restaureringen. Det skyldes simpelthen, at det tager tid for habitatet i Skamlebækken at stabilisere sig og for de nye og gamle arter at bevæge sig tilbage i vandløbet.

Restaureringsprojektet ved Skamlebækken er ikke det eneste af sin art og derfor er det relevant at sammenligne de data og den udvikling der ses i Skamlebækken med øvrige restaureringsprojekter. De 2 øvrige restaureringsprojekter der sammenlignes med er restaureringen af Skjern åen i 2003 og restaureringen af Gelså i 1989. Begge disse projekter er meget større end restaureringen af Skamlebækken. Derfor er den relevans man kan drage fra sammenligningen mere i forhold til tendenser i udviklingen end i en egentlig sammenligning af tallene for de ændrede faktorer.

	Kontrol Strækning	C4	Restaureret Strækning	R3	Restaureret Strækning	R2
	2000	2003	2000	2003	2000	2003
Gennemsnitlig Bredde (m)	20	20	32	26	49	34
Gennemsnitlig Dybde (cm)	149	145	128	98	132	83
Gennemsnitlig Strømhastighed (cm/s)	33	32	41	29	29	38
Dominerende Bundsediment	Sand	Sand	Sand	Sand	Sand	Sand

Udviklingen for Skjern å ved restaureringen i 2003 [Restoration of Skjern River 2003].

Sammenlignet med de samme resultater for Skamlebækken så kan det ses at udviklingen i Skjern å adskiller sig på flere punkter. Fx så er den udvikling som der kan ses i Skjern å på de 2 restaurerede strækninger relativt ensrettet. Gennemsnitlig bredde og dybde falder begge, de fysiske aspekter er altså mere ensrettet end den udvikling der ses i Skamlebækken. Når der ses på den gennemsnitlige strømhastighed ser vi dog det samme billede som der observeres i Skamlebækken. Skjern å oplever både en strækning med stigning og en med fald.

Bundsedimentet i Skjern å oplever dog ikke den samme ændring som det observeres i Skamlebækken. Sand er bundsedimentet både før og efter, og dette er på trods af at der også i Skjern å er tale om en omfattende restaurering [Restoration of Skjern River 2003].

Forskellen imellem de to projekter er altså, ud over størrelsen, en anderledes udvikling i de fysiske parametre og udviklingen i bundsedimentets sammensætning.

	Før regulering	Regulerede Vandløb	Restaurerede Vandløb
Gennemsnitlig Bredde (m)	7,5 - 9	11	8,5
Gennemsnitlig Dybde (cm)		150	130
Vandføringsevne (m ³ /s)	3,3	6,6	3,1
Dominerende Bundsediment			

Udviklingen for Gelså ved restaureringen i 1989 [Restaurering af Gelså 1989].

Som ovenstående tabel viser så er det ikke altid muligt direkte at sammenligne størrelserne fra forskellige vandløb idet der undersøges forskellige parametre i forbindelse med undersøgelserne før og efter. Ovenstående størrelser er anderledes end de i Skamlebækken opmålte både ved at det ikke var muligt at finde den gennemsnitlige strømhastighed for andet en det restaurerede løb. Denne var på 42,5 cm/s for en mæanderbue og det bliver nævnt at variationen i strømhastighed er kraftigt øget ved restaureringen. Ydermere så har den undersøgelse af sediment der er foretaget i forbindelse med Gelså fokuseret på sedimentationen i vandløbet og ikke sammensætningen af vandløbets bundsediment.

Udviklingen i bredde og dybde i Gelså ligner til forveksling den der er observeret i Skjern å. Der er altså tale om at både bredde og dybde falder efter restaureringen. Vandføringsevnen falder, i forbindelse med restaureringen og dette kunne være en indikation af at der sker den samme udvikling med den gennemsnitlige strømhastighed. Et problem med Gelså målingerne er dog at der kun er en strækning der bliver undersøgt. Det er altså ikke muligt at vurdere om denne ene strækning er sigende for hele forløbet eller om der er udsving fra dette andre steder i det restaurerede løb.

Som konklusion på ovenstående sammenligning af restaureringsprojekter kan det siges at det lader til at Skamlebækken fraviger fra normen med sin svingende udvikling i bredde og dybde. Her er der opserveret gennemgående fald i de to øvrige projekter. Strømhastigheden lader til at være en mere diffus faktor hvor der både opleves stigninger og fald afhængig af vandløbets form og eventuelle andre faktorer som bevoksning og samlet vandføring.

Bundsedimentet kan der drages begrænsede konklusioner for idet det kun er muligt at drage linjer fra restaureringen af Skjern å. Men de konklusioner der kan drages, peger i retning af at den voldsomme ændring af bundsedimentets sammensætning ikke er gældende for alle restaurerede vandløb. Dette kunne pege i retning af at en ændring af bundsedimentet i denne grad ikke vurderes til at bidrage til en ønsket forbedret økologisk kvalitet af vandløbet. Dette underbygges yderligere af figur 3 i [Restoration of Skjern River 2003] hvor det ses at sammensætningen af bundsediment i Skjern å oplever en langt mindre ændring end det er tilfældet med Skamlebækkens bundsediment.

7. Konklusion

For at kunne drage en konklusion på projektet vil resultaterne og ovenstående diskussion blive ridset kort op her.

Som det fremgår af de relevante grafer, så oplever bredden i vandløbet både en stigning og et fald, så denne udvikling går begge veje. Det samme er tilfældet for dybden, der stiger i strækning 2 og 3, mens den falder i strækning 1.

Strømhastigheden stiger på trods af en faldende vandtransport. Vandtransporten falder som resultat af en mindre end gennemsnitlig nedbørsmængde over den periode, som projektet forløber. Dette resulterer i en mindre tilstrømning til de øvre grundvandsreserver og dermed et mindre tryk i reserveerne. Det mindre tryk resulterer i, at mindre vand bliver presset op til Skamlebækkens kilde og dermed fås den lavere vandtransport. Dette er eventuelt i mindre grad kombineret med en større udsivning gennem vandløbsbunden, men størstedelen af ændringen er sikkert fra den reducerede tilstrømning.

Substratet i bunden af vandløbet og på vandløbets brinker bliver som resultat af den korntype grus, der er brugt i restaureringen særdeles grovere gennemsnitligt. Ud over at det bliver grovere, så bliver spredningen i kornstørrelse også mindre, idet de mindre sediment størrelser ikke er at forefinde i vandløbet efter restaureringen. Det, at sedimentet har en større d_{50} , kombineret med en lavere vandføring, medfører helt sikkert den tidligere stabilisering af vandløbets sediment transport som vi observerer på den relevante graf.

Selve fødegrundlaget for den restaurerede del af Skamlebækken er også blevet ændret drastisk. De træer og buske, der voksede omkring vandløbet og på brinkerne, er i forbindelse med restaureringen blevet fjernet. Dette har resulteret i ændrede lys/skygge forhold og en kraftig reduktion i tilførslen af biologisk stof, som er føde for invertebralerne og det øvrige liv i vandløbet. Kombineret med at der ikke er den algevækst i vandløbet, som blev observeret før restaureringen, gør disse faktorer at mængden af biologisk stof, der er til rådighed som fødekilde, er kraftigt reduceret.

Som det ses på de forskellige billeder af vandløbet, så er der sket en stor ændring mht. vandløbets placering i landskabet. Ud over at vandløbet blev flyttet under restaureringen, så er det også blevet gravet dybt ned i landskabet. Dette resulterer i meget stejle og ustabile brinker. Dette gør vandløbet til en mere ustabil enhed efter restaureringen. Netop det, at brinkerne er ustabile, kombineret med det, at der ikke er observeret en kraftig formgivende vandstrømning i vandløbet i

undersøgelsesperioden, gør, at der er en risiko for store ændringer i vandløbets form, når den formgivende strøm forekommer.

Disse ændringer vil, medmindre der tages forholdsregler, medføre stor sedimenttransport, både fra det i vandløbet opmagasinerede sediment, og mere alvorligt, fra de ustabile brinker. Netop en voldsom erosion af brinkerne vil medføre store mængder ekstra sediment i vandløbet og ændre vandløbets form. Hvis dette sker, vil forholdene for liv i vandløbet blive kraftigt forværret grundet fx meget uklart vand og resulterende ringe levevilkår.

Der er altså et stykke vej endnu, før Skamlebækken når den ønskede stabile og højere økologiske kvalitet efter restaureringen. På flere områder vil det kræve en længere tidshorisont, men der kan også gøres noget her og nu. Et sted, som det ville være fornuftigt at skride ind, ville være ved beplantning af brinkerne. Som det ser ud nu, er det brinkerne, der i forbindelse med en kraftig formgivende vandstrøm er den største risiko. Som det ses af figur 60, så er der allerede foretaget tiltag med dette for øje. Dog vil det tage en vis tid, før disse buske er i stand til at yde den nødvendige beskyttelse. Dette er altså endnu et eksempel på, at der er brug for mere tid for at kunne vurdere resultaterne af restaureringen.

For at sikre brinkerne på nuværende tidspunkt ville en mulighed være at plante en hurtigt voksende flerårig græssort på brinkerne for at holde dem sammen, indtil den øvrige bevoksning får et tilstrækkeligt rodnet til at holde sammen på jorden. Et andet tiltag, der kunne tages, hvis det er for sent at plante græs, kunne være at udvide den stenkiste, som vandet løber i, længere op ad brinken, så man undgår den destabiliserende effekt ved en høj vandføring, der er vist på figur 58 og 59.

Ud over denne umiddelbare stabilisering af brinkerne, så er de processer, der skal foregå, og foregår, i det restaurerede løb af Skamlebækken, alle processer, der kræver tid. Og der er også tale om længere tid, end vi har haft til rådighed i projekt-perioden.

Så konklusionen er, at for at det kan vurderes om restaureringen af Skamlebækken har været en succes eller ej, så er der behov for at følge udviklingen i vandløbet over en længere tidsperiode. Og medmindre der tages tiltag fx i form af beplantning af ældre vækster, så vil denne tidsperiode strække sig over mere end 5-10 år eller lignende.

Alt dette leder frem til at drage det ellers positive begreb restaurering i tvivl. For et vandløb som Skamlebækken med en så relativ fornuftig økologisk tilstand, som der blev observeret før restaureringen, er en restaurering måske ikke pengene værd. Ikke alene kan pengene være givet forkert ud i forbindelse med restaureringen, men når der er tale om en så lang tidsskala før den økologiske status kommer op på samme niveau som før restaureringen. Og endnu længere tid før den planlagte forbedring indtræffer, er det så et fornuftigt projekt at lave denne restaurering?

Men vores undersøgelser i og ved Skamlebækken antyder, at der kan være gode grunde til nøje at overveje den slags gennemgribende restaureringer af biologisk velfungerende vandløb. Sådan et vandløb er et særdeles dynamisk miljø med stærke eroderende kræfter, og det kan derfor være længe om igen at finde tilbage til en stabil økologisk tilstand efter en gennemgribende restaurering.

Hvis man skal fortsætte med at forbinde ordet restaurering med positive projekter, så bør der derfor nok laves grundigere undersøgelser af områderne før de restaureres, og der bør opsættes skarpere definitioner for hvornår områder bør restaureres.

8. Litteraturliste

[Allan og Castillo, 2007]:

Stream ecology. Structure and function of running waters. Second edition.

Allan, J. David and Castillo, M. Maria. Springer 2007

[Andersen et al., 2000]:

Andersen et al (2000) Vandmiljøplan II Genopretning af vådområder – hydrologi, stofomsætning og opmåling. Miljø og energiministeriet, 1. oplag ISBN 87-7279-228-0

[Bain, M.B et al. 1985]:

Bain, M.B., Finn, J.F. & Booke, H.E. (1985): Quantifying stream substrate for habitat analysis studies.

North American Journal of Fisheries Management

[Den Store Danske Encyklopædi]

<http://www.denstoredanske.dk>

Lokaliseret på www den 17. august 2009.

[DMU 2003]:

Vandmiljø 2003; Tilstand og udvikling – Faglig sammenfatning

Faglig rapport fra DMU, nr. 471.

http://www2.dmu.dk/1_viden/2_publicationer/3_fagrapporter/rapporter/FR471.pdf

[DMU 2004]:

Notat vedr. Vandrammedirektivet (VRD) og vandløb: indsatsbehov

<http://www.dmu.dk/NR/rdonlyres/7A8C884D-0383-4F3A-B12D-E1C5AC94B2E9/0/NotatVDvandl%C3%B8b.pdf>

[DMU 2005]:

Iltsvind og Udledning af næringsstoffer

<http://www.dmu.dk/foralle/Vand/Iltsvind/Iltsvind+og+udledning+af+n%C3%A6ringsstoffer.htm>

[DMU 2005,B]:

Iltsvind i Fremtiden?

<http://www.dmu.dk/foralle/Vand/Iltsvind/Iltsvind+i+fremtiden.htm#NPO>

Lokaliseret på WWW den 1. maj 2009

[Galsgaard, 2000]:

Indføring i Sedimentologi. Dgf-Bulletin nr. 12.

Galsgaard, J.

Dansk Geoteknisk Forening, Aalborg 2000.

[Gordon et al, 1994]

Stream hydrology. An introduction for ecologists.

Nancy D. Gordon Tomas A McMahon, Centre for environment Applied Hydrology
University of Melbourne

Jogn Wiley and sons Ltd. 1994

[Iversen og Ovesen, 1997]:

Vandføringsevne i danske vandløb 1976-1997.

Faglig rapport fra DMU, nr. 189

Iversen, Hans Legaard og Ovesen, Niels Bering.

http://ospm.dmu.dk/1_viden/2_publicationer/3_fagrapporter/rapporter/FR189.pdf

[Liu, 2001]:

Sediment Transport

Lui, Z.

Laboratoriet for Hydraulik og Havnebygning, Aalborg Universitet. 2001.

[Madsen og Gregersen, 1998]

Vandløbene i Danmark.

Bent lave Madsen og Jens Gregersen

Gads forlag, København 1998

[Mangelsdorf et al, 1990]:

Mangelsdorf, J et al (1990) River Morphology – A Guide for Geoscientists and Engineers

Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York

London Paris Tokyo Hong Kong.

[Miljøministeriet, 2003]:

Miljøministeriet (2003) Aftale om vandmiljøplan 3 2005-2015 mellem regeringen, dansk folkeparti og kristendemokraterne. Fundet den 3. maj 2009 på

http://www.vandmiljoepan3.dk/Files/Filer/VMP_III-aftale-endelig_.pdf

[Pedersen og Tjell, 2000]:

Stadigt massivt overforbrug af kunstgødning i landbruget.

Debatindlæg i ugeavisen ingeniøren, 2000.

Pedersen, Jørn K. og Tjell, Jens Chr.

http://www.gylle.dk/Ing_overforbrug.htm

[Reguleringsprojekt Skamlebækken]:

Kommunal skrivelse med beskrivelse af begrundelse, formål og lovmæssige detaljer om restaureringen af skamlebækken.

[Restaurering af Gelså 1989]:

Restaurering af Gelså ved Bevtøft – Miljømæssig effekt i vandløb og de vandløbsnære arealer.

Faglig rapport fra DMU, Nr. 110 1994

Miljø- og Energiministeriet

Danmarks Miljøundersøgelser.

[Restaurering af Skjern Å]:

NR. 531: Restaurering af Skjern Å. Sammenfatning af Overvågningsresultater 1999-2003

http://www.dmu.dk/Udgivelser/Faglige+rapporter/Nr.+500-549/Abstracts/FR531_dk.htm

Lokaliseret på www d. 21. juni 2009.

[Restoration of Skjern River 2003]:

Restoration of Skjern River and its valey – Short-term effects on river habitats, macrophytes and macroinvertebrates.

Pedersen, Morten I. et al..

Department of Freshwater Ecology, National Enviromental Research Institute, Vejlsøvej 25, DK-8600 Silkeborg, Denmark.

Publiceret på www.Sciencedirect.com august 2006.

[Sand-Jensen et al, 1991]:

Basisbog i Ferskvandsøkologi

Sand-Jensen, K. Iversen, T. M. og Lindegaard, C

Gads Forlag. Arhus 1991.

[Sand-Jensen og Lindegaard, 1996]:

Økologi i søer og vandløb.

Sand-Jensen, K. og Lindegaard, C.

Gads Forlag, København 1996

[Sand-Jensen, 2000]

Et Skønmaleri – Landbruget og kvælstofforurening

Sand-Jensen, K.

Aktuel Naturvidenskab nr. 6, 2000 <http://viden.jp.dk/binaries/an/8322.pdf>

Lokaliseret på www 12. august 2009.

[Skinner et al, 2004]:

Dynamic Earth, an introduction to physical geology. Fifth edition

Skinner, Bryan J. Porter, Stephen C. Wiley, Jeffrey P.

John wiley and sons inc. 2004

[Sjællands geologi]

Værdifulde geologiske områder på Sjælland:

<http://www.blst.dk/NR/rdonlyres/02C2A9C2-DA62-45CD-BBB5-2E2FA264CB33/82304/Sjlland2.pdf>

Lokaliseret på www d. 12. juni 2009.

Bilag A Bredde, Dybde, Areal og Vandføring

Bredde	Oktober	Januar	Februar	Marts
i cm	02-10-08	15-01-09	17-02-09	23-03-09
Strækning 1	187,6579926	61,19130435	60,86324786	63,725
Strækning 2	56,72413793	67,03333333	76,48275862	80,62091503
Strækning 3	65,58823529	51,89247312	54,94	55,50961538
Reference	108,6633663	91,58024691	85,82608696	99,45833333

Dybde	Oktober	Januar	Februar	Marts
i cm	02-10-2008	15-01-2009	17-02-2009	23-03-2009
Strækning 1	3,730337079	6,052173913	5,598290598	5,521008403
Strækning 2	4,583333333	3,841666667	3,179310345	2,967320261
Strækning 3	5,588235294	4,35483871	3,74	3,413461538
Reference	5,198019802	7,160493827	3,934782609	4,895833333

Areal	Oktober	Januar	Februar	Marts
i cm ²	02-10-2008	15-01-2009	17-02-2009	23-03-2009
Strækning 1	700,0275678	370,3404159	340,7301483	351,8262605
Strækning 2	259,9856322	257,5197222	243,1624257	239,2280747
Strækning 3	366,5224913	225,9833507	205,4756	189,4799371
Reference	564,83433	655,7597927	337,7069943	486,9314236

Vandføring	Oktober	Januar	Februar	Marts
cm/s	02-10-2008	15-01-2009	17-02-2009	23-03-2009
Strækning 1	3,660352688	29,15956522	30,95186364	29,7676087
Strækning 2	5,357604938	50,04505747	49,42985507	46,87357143
Strækning 3	4,491886305	57,58710145	54,01714035	59,4025
Reference	15,02211221	17,22442857	18,66754472	24,32684211

Bilag B Sedimentsammensætning og Vandtransport

Restaureret	Oktober	Januar	Februar	Marts
I procent	02-10-2008	15-01-2009	17-02-2009	23-03-2009
Sten	0,390740741	0,185393258	0,068062827	0,024793388
Groft Grus	0,111111111	0,780898876	0,811518325	0,479338843
Fint Grus	0,024074074	0,030898876	0,089005236	0,483471074
Sand	0,474074074	0,002808989	0,031413613	0,012396694

Reference	Oktober	Januar	Februar	Marts
I procent	02-10-2008	15-01-2009	17-02-2009	23-03-2009
Sten	0,1538462	0,1764706	0,060606061	0,057142857
Groft Grus	0,1846154	0	0,166666667	0
Sand	0,5846154	0,7764706	0,636363636	0,628571429
Mudder	0,0769231	0,0470588	0,136363636	0,314285714

Vandtransport og vanddybde ved målestation

		Dybde i cm	Q (L pr sek)
November	06.11.08	19,4	8,36
December	17.12.08	20,5	8,05
Januar	16.01.09	20,3	5,82
Februar			
Marts	25.03.09	20,4	5,81
April	15.05.09	21,2	6,91
Maj	11.06.09	23	5,69

Bilag C Nedbør, Gross stream power, Specifik stream power og Shear stress.

Nedbør

mm/måned	Målt	Normalt
Oktober	108	87
November	71	55
December	32	43
Januar	41	43
Februar	34	69
Marts	53	110
April	10	162
Maj	56	209

Gross stream power	November	Januar	Marts
Strækning 1	2,722104	2,619976	2,619976
Strækning 2	2,624886	1,70868	1,70868
Strækning 3	1,879548	1,936504	1,936504

Specific stream power

	November	Januar	Marts
Strækning 1	1,450566513	4,281614893	4,111379
Strækning 2	4,627458602	2,549000497	2,1194
Strækning 3	2,865678565	3,731762785	3,488592

Shear Stress

	November	Januar	Marts
Strækning 1	12,1	27,3	24,9
Strækning 2	14,9	11,3	8,7
Strækning 3	18,1	14,5	11,4