

Arbejdsrapport fra DMU nr. 101

Restaurering af Brede Å

# Stoftilbageholdelse på de vandløbsnære arealer

Restoration of the River Brede  
– Retention on the Riparian Areas

# Vandløbsøkologi

# Arbejdsrapport fra DMU nr. 101

Vandløbsøkologi

Restaurering af Brede Å

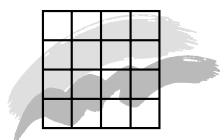
## Stoftilbageholdelse på de vandløbsnære arealer

Restoration of the River Brede  
– Retention on the Riparian Areas

Morten Lauge Pedersen

Lars M. Svendsen

*Afdeling for Vandløbsøkologi*



Miljø- og Energiministeriet  
Danmarks Miljøundersøgelser  
1999

## Datablad

Titel:	Stoftilbageholdelse på de vandløbsnære arealer
Undertitel:	Restaurering af Brede Å. Vandløbsøkologi
English title:	Restoration of the River Brede - Retention on the Riparian Areas
Forfattere: Afdeling	Morten Lauge Pedersen & Lars Moeslund Svendsen Afdeling for Vandløbsøkologi
Serietitel og nummer:	Arbejdsrapport fra DMU, nr. 101
Udgiver:	Miljø- og Energiministeriet Danmarks Miljøundersøgelser©
URL:	<a href="http://www.dmu.dk">http://www.dmu.dk</a>
Udgivelsestidspunkt:	Januar 1999
Faglig kommentering:	Brian Kronvang
Layout:	Aase Pedersen, Juana Jacobsen & Morten Lauge Pedersen
Bedes citeret:	Pedersen, M.L. & Svendsen, L.M. (1999): Stoftilbageholdelse på de vandløbsnære arealer - Restaurering af Brede Å. Vandløbsøkologi. Danmarks Miljøundersøgelser. 64 s. - Arbejdsrapport fra DMU nr. 101  Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse.
Abstract:	En 3,2 km lige og udrettet strækning af Brede Å i Sønderjyllands Amt blev i 1994 genslynget til en 4,5 km lang mæandrerende strækning. Stoftilbageholdelsen blev undersøgt vha. sedimentfælder opstillet i transekter på tværs af ådalen. Aflejringen og tilbageholdelsen på de vandløbsnære arealer blev beregnet vha. en simpel model. Resultaterne viser, at en betragtelig del af den i vandløbet transporterede mængde kan tilbageholdes på de vandløbsnære arealer i oversvømmelsessituationer. (With an English summary)
Frie emneord	Brede Å, genslyngning, oversvømmelse, stoftilbageholdelse
Redaktionen afsluttet:	December 1998
ISSN:	1395-5675
Tryk	Silkeborg Bogtryk EMAS Registreret nr. DK-S-0084
Papirkvalitet	Cyclus Print
Sideantal:	77
Oplag:	125
Supplerende oplysninger:	Dette er en af fire arbejdsrapporter fra DMU, som omhandler restaureringen af Brede Å. De tre øvrige arbejdsrapporter omhandler hhv. effekterne på invertebratfaunaen (Hansen), effekterne på vegetationen (Grøn) samt vand- og næringsstofbalancer i de vandløbsnære arealer (Pedersen et al).
Pris:	kr. 40,- (inkl. 25% moms, ekskl. forsendelse)
Købes hos:	Danmarks Miljøundersøgelser Vejløsvej 25, Postboks 314 DK-8600 Silkeborg Tlf. 89 20 14 00 Fax 89 20 14 14

## Indholdsfortegnelse

Forord.....	5
English Summary .....	7
1 Sammenfatning.....	9
2 Indledning.....	13
3 Formål .....	15
4 Undersøgelsesområdet.....	17
5 Felt- og analysemetoder .....	21
5.1 Indledning .....	21
5.2 Måling af bruttotilbageholdelsen.....	21
5.3 Måling af nettotilbageholdelsen.....	22
5.4 Laboratorieprocedure .....	23
6 Resultater .....	29
6.1 Vandstand og oversvømmelse .....	29
6.2 Vandføring i Brede Å.....	31
6.3 Stoftransport .....	32
6.4 Bruttotilbageholdelse og aflejringsmønstre på de oversvømmede arealer.....	34
6.5 Materialesammensætningen i rørfælderne .....	40
6.6 Sammenligning af netto- og bruttotilbageholdelsen .....	41
6.7 Materialesammensætningen græsmatteerne .....	43
6.8 Strømningsmønster på engene.....	45
7 Beregning af tilbageholdelsen .....	49
7.1 Indledning .....	49
7.2 Multivariabel analyse af tilbageholdelsen.....	49
7.3 Beregning vha. "box-metoden" .....	50
7.4 Beregning af aflejringen i hele ådalen .....	52
8 Diskussion og konklusion.....	59
9 Referencer .....	63



## Forord

Denne arbejdsrapport fra Danmarks Miljøundersøgelser er en af fire arbejdsrapporter fra Afdeling for Vandløbsøkologi, der alle omhandler overvågningen af effekterne af genslyngningen af Brede Å i Sønderjyllands Amt over en 3,2 km strækning i 1994.

Denne rapport omhandler overvågningen af effekterne af genslyngningen på stoffilbageholdelsen på de vandløbsnære arealer

De tre øvrige arbejdsrapporter om genslyngningen af Brede Å omhandler henholdsvis effekterne på invertebratfaunaen (*Hansen, 1999*), effekterne på vegetationen (*Grøn, 1999*) samt effekterne på vandgennemstrømningen og nitratfjernelse i grundvandet i de vandløbsnære arealer (*Pedersen et al., 1998*).

Genslyngningen af Brede Å og overvågningen i forbindelse dermed var en del af et større fælles EU-projekt, hvor også floderne River Skerne og River Cole i England indgik. Projektet blev støttet økonomisk af EU-LIFE (projekt nr. DK93/2504), Sønderjyllands Amt, Miljøstyrelsen og Danmarks Miljøundersøgelser.



## English Summary

In the summer of 1994 the County of Southern Jutland restored a 3.2 km straightened reach of the River Brede to a 4.5 km meandering watercourse. The aim of the restoration was to recreate the natural physical conditions in the River, and to reestablish the hydrologic link between the river and the riparian areas, in terms of raising the groundwater table and enhancing the frequency of flooding of the riparian areas.

The restoration resulted in a lower discharge capacity in the river, although it was still 10-15% higher than prescribed in the river's Provisional Order. In the period following restoration the gentle weed cutting practice, resulted in the discharge capacity being reduced further, today it is close to the prescription in the Provisional Order. Subsidence of up to 0.50 m have been seen in the organic rich soils in the river valley since the river was straightened in the mid-fifties. This will enhance the possibilities of flooding of the riparian areas.

A monitoring programme was set up to record the effects of the restoration on the retention of sediment, organic matter, phosphorus and nitrogen on the riparian areas in connection with flooding events.

The gross retention of sediment, organic matter, phosphorus and nitrogen was measured with cylindrical sediment traps, and the net retention was measured with grass mats. The traps and grass mats were placed in a number of transects across the river valley on the restored reach. Simple models were applied to the data to model the gross and net retention.

The extent of the flooding of the river valley was analyzed from modelled water level data from the hydrodynamic model MIKE 11. The water level in each transect during the different flooding event was also analyzed using the MIKE 11 data. Calculations show that 75% of the river valley was flooded at the peak of the flooding in the winter of 1994/95.

During the winter of 1994/95 the gross retention was measured in 5 separate periods. Large amounts of sediment were deposited in the river valley due to extremely large amounts of precipitation and runoff. The river valley was frequently flooded during the winter. The following winter 1995/96 there was no flooding at all due to small amounts of precipitation and low runoff. No deposition was measured in the river valley during this winter.

The net retention of fine sediment (grain size < 0.25mm) in the winter 1994/95 constituted 47% (806 t) of the suspended sediment transport in the river. The net retention of phosphorus and nitrogen was 7% and 0,4% of the particulate transport in the river, respectively. In the rivers in the western part of Denmark, the sediment bed load transport constitutes approximately 50% of the total sediment transport. Using that figure the net retention of particulate matter less than 2 mm constituted 86% of the total sediment transport in the river in the winter of 1994/95. In the winter of 1994/95, the net retention of fine sediment (less than 0.25 mm) constituted 40% of the



gross retention, while the net retention of phosphorus and nitrogen constituted 21% of the gross retention.

A mass balance approach for the restored reach cannot explain the large retention of sediment and phosphorus on the riparian areas. The main source of sediment is the newly digged channel where large amounts of sediment can be eroded due to the river bottom and banks being exposed to the erosive forces of the water during the winter. In the spring of 1995 the erosion was evident on the restored reach. In a 400 m minor reach of the river sediment was deposited obstructing the free flow of water. During more moderate runoff events the main source of sediment is the catchment upstream of the restored reach.

The study revealed the difficulties of modelling the retention on the riparian areas by using traps placed in transects. The difficulties originate from the water not breaking through the bank at a right angle to the transect and flooding the riparian areas from one point on the bank. When the river valley is flooded and the transects are flooded this happens from multiple levee breakthroughs at different locations up and downstream of the transects.

A statistical analysis (PCA) indicates that high rates of retention is connected to high water level on the riparian areas and the duration of the flooding. Small rates of retention are connected to the distance from the river to the trap. This indicates that the ability of the water to retain particles in suspension is dependent on the velocity of the water, which drops rapidly a short distances from the bank breakthrough.

Various calculation methods have been applied to calculate the total retention on the riparian areas. The study shows that a simple box-model produces the best results in this case. The study also shows that a better spatial resolution is required. More traps must be set up on the riparian areas. This was done in the winter 1995/96 but no flooding of the riparian areas occurred.

The retention during the winter 1994/95 is a maximum retention due to the extreme climatic conditions resulting in large amounts of runoff. The river has had four years to adjust to the new hydraulic conditions and natural vegetation has invaded the banks and river bottom, therefore a new study must be initiated in the near future to document the extent of the flooding and retention of sediment, phosphorus, nitrogen and organic matter.

## 1 Sammenfatning

I sommeren og efteråret 1994 forestod Sønderjyllands Amt med støtte af EU-LIFE midler, at en 3,2 km lang strækning af Brede Å fra Vestermølle til Søgård/Vestermærk blev restaureret til et 4,5 km langt naturligt, slynget vandløb. Endvidere blev den naturlige hydrologiske forbindelse mellem vandløbet og de vandløbsnære arealer i et vist omfang reetableret. Ved restaureringen blev vandføringssevnen reduceret i forhold til det udrettede vandløbsforløb, men var dog stadig 10-15% større end vandløbsregulativet foreskriver. Den efterfølgende skånsomme vedligeholdelsespraksis har medført at vandføringsevnen nu er som regulativet foreskriver. I perioden fra udretningen i 1950'erne og frem til genslyngningen i 1994 er der sket sætninger i ådalen på op til 0,5 m. Det betyder, at afvandingsforholdene efter restaureringen er blevet som de var i 1950'erne. Ådalen er altså blevet fugtigere og hyppigheden af oversvømmelser i vinterhalvåret vil blive forøget i forhold til perioden, hvor vandløbet var udrettet. Oversvømmelser af de vandløbsnære arealer har været et karakteristisk træk i danske ådale, før man begyndte at udrette vandløbene, således har kontrolleret engvanding været anvendt i flere vestvendte danske vandløb op til dette århundrede.

I forbindelse med restaureringsprojektet iværksatte Sønderjyllands Amt en række overvågningsaktiviteter, hvoraf en del blev gennemført sammen med Danmarks Miljøundersøgelser (DMU). En del af disse omhandlede en kvantificering af aflejringen (tilbageholdelsen) af sediment og tilknyttet kvælstof, fosfor og organisk stof på de vandløbsnære arealer i ådalen omkring den restaurerede del af Brede Å. Denne rapport omhandler resultatet af de undersøgelser, som DMU har gennemført i den forbindelse.

Tilbageholdelsen af sediment, kvælstof, fosfor og organisk stof blev målt ved hjælp af rørfælder til kvantificering af bruttotilbageholdelsen og græsmåtter til kvantificering af nettotilbageholdelsen. Rørfælderne og græsmåtterne var placeret i et antal transekter på tværs af ådalen, og ved hjælp af simple modeller er den samlede brutto- og nettotilbageholdelse i ådalen beregnet. Bruttotilbageholdelsen er et samlet mål for aflejringen et givent sted, hvis der ikke har kunnet ske en senere ophvirvling af aflejret materiale.

Ud fra beregninger med den hydrodynamiske model MIKE 11 er vandstanden ved hvert transekt beregnet, herunder hvor stor en del af den ca. 64 ha store ådal, der har været oversvømmet på et givent tidspunkt. Det er beregnet, at under oversvømmelsernes maksimale udbredelse i vinteren 1994/95 stod ca. 75% af ådalen under vand.

Bruttotilbageholdelsen blev den første vinter (1994/95) målt i 4 transekter over 5 perioder med oversvømmelser. I vinteren 1994/95 blev der aflejret store mængder sediment i ådalen, idet vinteren var meget nedbørs- og afstrømningsrig og ådalen derfor var oversvømmet flere gange. I den efterfølgende vinter, som var meget tør, blev der ikke registreret en eneste oversvømmelse.

Nettotilbageholdelsen af fint sediment (<0,25 mm) i vinteren 1994/95 udgjorde 47% af den målte suspenderede sedimenttransport i vandløbet i perioden eller i alt 806

ton. Tilsvarende udgjorde nettotilbageholdelsen af hhv. fosfor og kvælstof, hhv. 7% (1,1 ton), og 0,4% (2,4 ton) af den partikulære transport i vandløbet. Antages bundtransporten at udgøre ca. halvdelen af den samlede sedimenttransport i vandløbet (dvs. bund + suspenderet transport), har nettotilbageholdelsen af sediment (< 2 mm) udgjort cirka 86% af den samlede sedimenttransport i vandløbet. En massebalance over den restaurerede strækning for sediment og fosfor kan ikke forklare de store tilbageholdelsesrater på de oversvømmede vandløbsnære arealer. Hovedkilden til de målte aflejringer må derfor være erosion i det nygravede vandløbsleje i såvel bund som sider. I et nygravet vandløb vil der altid ske en større formtilpasning af lejet og i den meget afstrømningsrige første vinter har der været masser af energi til at erodere. Da vandløbets sider samtidig var helt uden vegetation, har der ikke været nogen form for beskyttelse af disse. Endvidere er der en del flyvesandsaflejringer i ådalen, som er let eroderbare. I foråret 1995 var erosionen meget tydelig mange steder i vandløbet, og et sekundært vandløb, der var blevet gravet over en 400 m lang strækning, var således blevet fyldt op i løbet af vinteren. Under fremtidige oversvømmelser, når vandløbslejet har stabiliseret sig, må det forventes, at hovedkilden til aflejret materiale vil være oplandet opstrøms i stedet for lokalt eroderet materiale.

Undersøgelsen viser, at det er vanskeligt at modellere tilbageholdelsen i de enkelte transekter ud fra en simpel afstandsmodel til vandløbet. Det skyldes, at de vandløbsnære arealer ikke oversvømmes ved, at vandet bevæger sig vinkelret ud over brinkerne, men at der mange steder har været en vandbevægelse over lange afstande (både i opstrøms og nedstrøms retning). Herudover har senere oversvømmelser kunnet erodere i tidligere aflejret materiale, som så er blevet omlejret eller ført tilbage til vandløbet. Vinden kan også påvirke vandet, når det står på de vandløbsnære arealer og dermed flytte aflejret materiale. Nettotilbageholdelsen af sediment (< 2 mm) udgjorde 55% af bruttotilbageholdelsen, men det varierer betydeligt mellem transekterne, afhængigt af hvor eksponeret områderne har været for senere ophvirvling af aflejret sediment. Nettotilbageholdelsen af fint sediment (< 0,25 mm) udgjorde 40% af bruttotilbageholdelsen. Nettotilbageholdelsen af kvælstof og fosfor udgjorde hhv 22% og 21% af bruttotilbageholdelsen. Nettotilbageholdelsens størrelse skyldes, at disse stoffer primært er knyttet til de mindre partikler, der let ophvirvles og kan føres tilbage til vandløbet.

En statistisk analyse (PCA) viser, at høje tilbageholdelsesrater er styret bl.a. af vanddybden på de vandløbsnære arealer og oversvømmelsens varighed. Små tilbageholdelsesrater er primært styret af afstanden til vandløbet, idet vandets evne til at holde en given størrelse partikler i svæv falder, når hastigheden falder, hvilket sker i kort afstand fra stedet, hvor vandløbet løber ud over brinkerne. Der er dog en stor variation fra fælde til fælde, og kun 60% af den samlede variation i aflejningsmønstrene kunne forklares med de anvendte statistiske analyser.

Undersøgelsen viser at en simpel boks metode er den mest velegnede til at beregne den samlede tilbageholdelse i ådalen i dette tilfælde. Undersøgelsen viser også, at der skulle være målt i flere transekter i ådalen. Der blev derfor også i vinteren 1995/96 opstillet 6 transekter. Endvidere understreger undersøgelsen klart at aflejringer af materiale på vandløbsnære arealer ikke kan beregnes med en massebalancebetragtning over den tilhørende vandløbsstrækning. De beregnede aflejrede sedi-

mentmængder i vinteren 1994/95 kan antages at være et maksimum for, hvad der kan aflejres over en vinter. Afstrømningen var usædvanlig høj og det nye leje var meget eksponeret for erosion, og derfor blev vandløbet markant hydraulisk tilpasset i løbet af denne vinter.

Der bør ske en opfølgning af de udførte tilbageholdelsesundersøgelser, nu hvor vandløbet har haft en årrække til at tilpasse sig den nye situation. Det tager endvidere tid inden grøden vokser op i det nye løb. En ny undersøgelse vil også give mulighed for at kvantificere tilbageholdelsen af sediment, fosfor, organisk stof og kvælstof, under mindre ekstreme forhold end i denne undersøgelse.



## 2 Indledning

I 1991 gennemførte Sønderjyllands Amt et restaureringsprojekt i Brede Å og de omkringliggende vandløbsnære arealer ved Løgumkloster, hvor 2,7 km udrettet vandløbsstrækning blev lagt i et 3,1 km slynget forløb. I perioden juli 1994 til november 1994 blev 2. fase af restaureringen af Brede Å fra Løgumkloster i øst til Bredebro i vest gennemført. Her blev et 3,2 km lige vandløbsforløb lagt i et 4,5 km slynget og varieret forløb, som i høj grad ligner det oprindelige forløb af Brede Å, inden den blev udrettet i 1950'erne. Restaureringen havde til formål at genskabe en naturlig variation i vandløbet med høl og stryg sekvenser, slyngninger med afvekslende fint og groft materiale, hvilket tilsammen kan give mulighed for en større variation i de plante- og dyrearter som lever i vandløbet (*Kronvang et al., 1994; Friberg et al., 1998 og Holmes & Nielsen 1998*). Endvidere medførte restaureringen at den i regulativerne fastsatte vandføringsevne blev reduceret, og at den naturlige sammenhæng mellem vandløb og ådal blev genskabt. Herved vil der periodisk forekomme oversvømmelser af de vandløbsnære arealer og en aflejring af partikulært materiale med dets indhold af fosfor, kvælstof og organisk stof. Dette kan til at reducere transporten af disse stoffer til nedstrømsbeliggende recipienter.

Tilbageholdelse af sediment og fosfor på oversvømmede engarealer er en naturligt forekommende proces i vandløbssystemer. Størrelsen af tilbageholdelsen afhænger i følge *Walling og He (1997)* af faktorer som bl.a.:

- varigheden af oversvømmelsen
- koncentrationen af suspenderet sediment i vandet, der oversvømmer engen
- afstanden fra vandløbet
- mængde af vand, der oversvømmer engen

Internationale og danske undersøgelser viser, at der kan tilbageholdes store mængder sediment og fosfor i forbindelse med oversvømmelser (*Svendsen 1992*). *Falkum et al. (1997)* har beregnet, at der på 0,5 ha engareal tilbageholdes over 1% af den samlede transport af fosfor i den nedre del af Gjærn Å-systemet (med et opland på 114 km<sup>2</sup>) ved oversvømmelser af de vandløbsnære arealer. *Asselman & Middelkoop (1995)* angiver sediment aflejringsrater på mellem 0,57 kg/m<sup>2</sup> og 1,0 kg/m<sup>2</sup> for floderne Meuse og Rhinen. På leveer og lavtliggende arealer i engene kan der tilbageholdes op til 4 kg/m<sup>2</sup>. *Phillips (1989)* angiver, at mellem 23% og 93% af den tilførte sedimentmængde kan tilbageholdes på engarealer i den nedre del af vandløbssystemet. Grundet lavere fald og større udbredelse af lavtliggende vandløbsnære arealer og større transport af partikulært materiale er tilbageholdelsen større i store end i små vandløbssystemer.

Danmarks Miljøundersøgelser (DMU) deltog i de overvågningsaktiviteter, som blev udført under og efter restaureringen i Brede Å i perioden 1994 til 1996. I denne rapport beskrives aflejringen af sediment og dertil knyttet kvælstof, fosfor og organisk stof i ådalen i forbindelse med oversvømmelser i perioden november 1994 til maj 1996. Vinteren 1994/95 var usædvanlig nedbørsrig, medens den efterfølgende vinter var usædvanlig tør. Dette medførte, at ådalen var oversvømmet i lange perioder,

medens der ikke forekom oversvømmelser det efterfølgende år. Der er derfor kun målt tilbageholdelse i den første af de to vinterperioder. I rapporten beskrives hvordan, tilbageholdelsen af sediment og tilknyttet kvælstof, fosfor og organisk stof er målt, og hvilke forhold, der påvirker aflejringen i ådalen. Den samlede tilbageholdelse i ådalen beregnes ved hjælp af en simpel metode, og de tilbageholdte mængder sammenlignes med den målte suspenderede stoftransport og den estimerede total sediment transport i vandløbet.

Undersøgelsen har været finansieret af Sønderjyllands Amt, en EU-LIFE bevilling (nr. DK93/2504), som begge takkes for støtten. Endvidere har DMU ydet støtte til undersøgelsen.

Forfatterne vil endvidere takke Sønderjyllands Amt for et godt og konstruktivt samarbejde i forbindelse med undersøgelserne ikke mindst Mogens Bjørn Nielsen, Ole Ottosen, Lars Øvig samt Peter Jensen. Vi værdsætter i høj grad også laborantfuldmægtig Uffe Mensberg for hans ihærdige indsats i såvel felten under våde og kolde forhold som i laboratoriet og overassistent Susanne Husted for indsatsen med en del af analysearbejdet.

### 3 Formål

Formålet med denne undersøgelse har været at beskrive og modellere aflejringsforholdene i forbindelse med oversvømmelse af de vandløbsnære strækninger på den del af Brede Å, der blev restaureret i sommeren og efteråret 1994, herunder:

1. at bestemme tilbageholdelsen af sediment og dertil knyttet kvælstof, fosfor og organisk stof målt på de vandløbsnære arealer i en række transekter på tværs af ådalen i forskellige perioder med oversvømmelser
2. at sammenligne bruttotilbageholdelsen af sediment, kvælstof, fosfor og organisk stof målt i rørfælder med den tilsvarende nettotilbageholdelse målt på græsmåtter
3. at bestemme hvilke parametre, der har indflydelse på brutto- og nettotilbageholdelsen af sediment, kvælstof, fosfor og organisk stof, herunder undersøge om der er sammenhæng mellem tilbageholdelsen af sediment, kvælstof, fosfor, organisk stof indbyrdes og med andre parametre
4. at modellere aflejringen i de enkelte transekter
5. at opgøre/modellere tilbageholdelsen af sediment, kvælstof, fosfor og organisk stof i ådalen i løbet af en vinterperiode
6. tolke de beregnede aflejringsmønstre i ådalen
7. at sammenligne tilbageholdelsen af sediment, kvælstof, fosfor og organisk stof med transporten af de tilsvarende stoffer i vandløbet, herunder vurdere betydningen af tilbageholdelsen for stoftransporten
8. vurdere betydningen af restaureringen for tilbageholdelsen i ådalen

Den overordnede fremgangsmåde har været at udlægge et antal transekter på tværs i ådalen, som skal repræsentere forskellige morfologiske, hydrauliske og vegetationsmæssige forhold i ådalen. I disse transekter er der målt bruttotilbageholdelse med rørfælder og nettotilbageholdelse på udlagte græsmåtter. På basis af disse transekter beregnes den samlede tilbageholdelse i ådalen ved hjælp af simple beregningsmetoder. Modelberegninger af vandstanden i vandløbet ud for transekterne er gennemført af Sønderjyllands Amt med MIKE 11-modellen. Transporten af sediment, kvælstof, fosfor og organisk stof ind og ud af den restaurerede strækning er også blevet målt.





#### 4 Undersøgelsesområdet

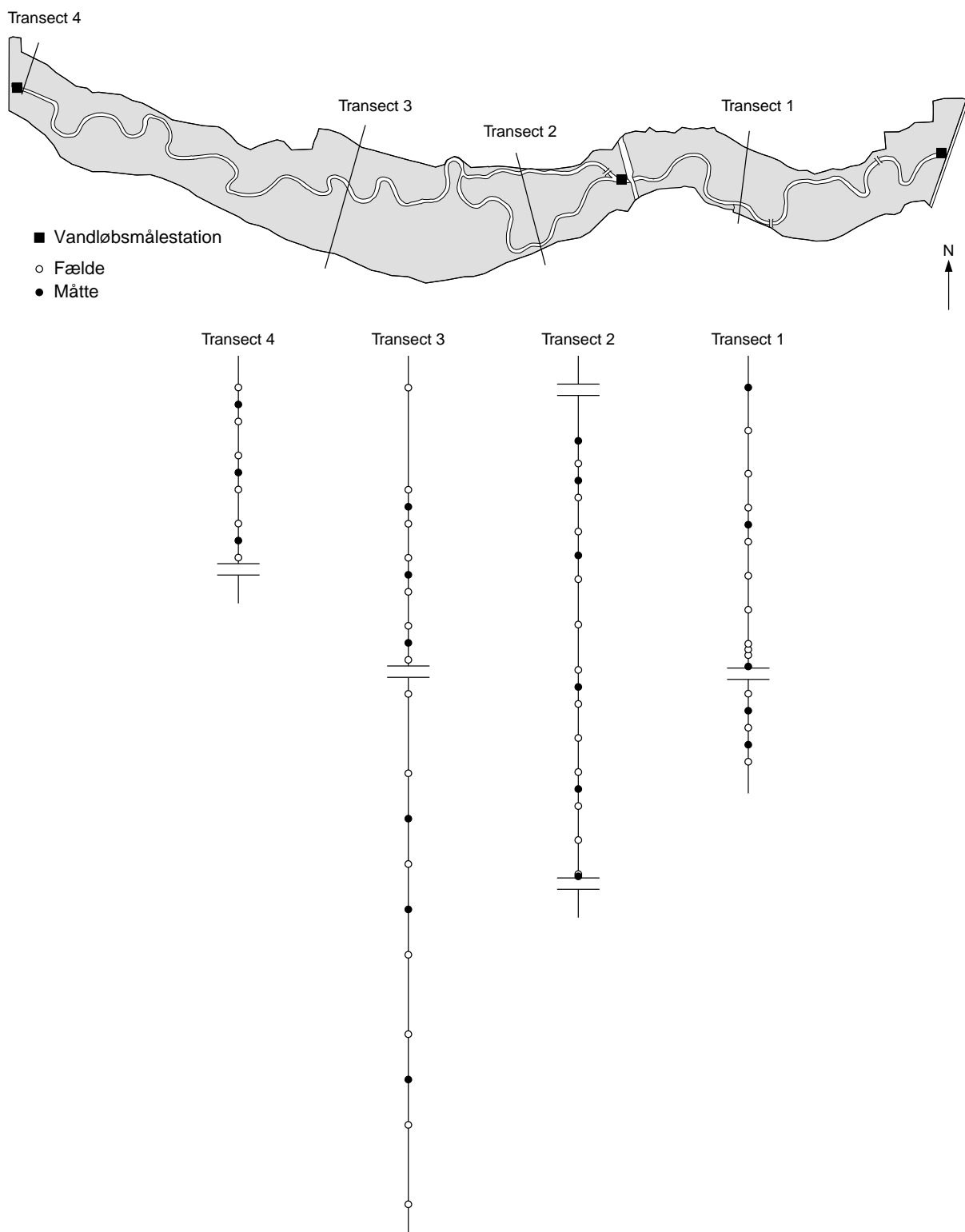
I forbindelse med restaureringen af Brede Å i sommeren og efteråret 1994 blev en 3,2 km lang delstrækning fra Vestermølle ved Koldingvej nedstrøms Løgumkloster til Søgård Plantage genslynget til en 4,5 km lang vandløbsstrækning. Hvor det var muligt blev vandløbet lagt tilbage i sit gamle leje. På figur 1 ses det nye forløb af vandløbet.

Opmålinger før restaureringen viste, at Brede Å havde en vandføringsevne, der var større end forudsat i regulativet. Ifølge dette skal Brede Å have en bundbredde på 6 m, et anlæg (sidehøjde) på 1,5 m og et fald på 0,6 promille. Det nye vandløbsforløb blev gravet således, at vandføringsevnen blev reduceret, men stadig var over det i regulativet foreskrevne. Den efterfølgende vedligeholdelsespraksis har dog medført, at vandføringsevnen nu er som foreskrevet. I det nye vandløb blev der anlagt to typer af profiler. På lige strækninger fik vandløbet en bundbredde på 5-6 m, et anlæg på 2-3 m og et fald på 0,4-0,5 promille. I slyngningernes yderside blev vandløbet gravet dybere, medens anlæg og bundbredde blev reduceret i forhold til lige strækninger. Tværsnitsarealet og ovenbredden var de samme som på de lige strækninger. På en strækning over ca. 400 m blev der gravet et dobbeltløb (figur 1), hvor det sydlige løb blev anlagt til at have ca. 75% af vandføringen. De to løb fik tilsammen samme vandføringsevne som resten af den restaurerede strækning, men det sydlige løb er anlagt med en mindre bundbredde end den resterende del af den restaurerede strækning. Der blev på visse strækninger udlagt sten og gydegrus for yderligere at øge den fysiske og hydrauliske variation i vandløbet.

Det nye vandløb er anlagt med et bundniveau, der er højere end det udrettede forløb, hvilket hævede vandstanden i ådalen. Bundniveauet i vandløbet blev generelt anlagt ca. 1,15 m under terræn på de lige strækninger, hvor niveauet inden restaureringen var 1,5 - 2,0 m under terræn.

Den reducerede vandføringsevne og det hævede bundniveau i vandløbet har medført, at de vandløbsnære arealer er blevet fugtigere. Således er grundvandstanden i de vandløbsnære arealer blevet hævet med 70 cm i sommerperioden og lidt mere i vinterperioden. Generelt er afvandingsforholdene alligevel så gode i ådalen, at der stadig er mulighed for afgræsning og visse steder mulighed for korndyrkning. Der vil dog ske en hyppigere oversvømmelse af de vandløbsnære arealer end før restaureringen. På den "ø" der blev skabt på denne del af strækningen, hvor vandløbet deles i to forløb, må der i den østlige del foregå afgræsning, medens den vestlige del skal ligge hen som naturareal uden landbrugsmæssig påvirkning.

I vinterperioden 1994/95 fremstod brinkerne uden vegetation og var derfor sårbare over for erosion fra vandløbet. I selve ådalen var en del strækninger tæt ved det nye vandløb og omkring det gamle vandløb uden vegetation. I løbet af 1995 voksede de fleste nøgne partier til med græs enten grundet tilsåning eller pga. en naturlig vegetationsindvandring. I løbet af 1995/96 voksede der en række vandplanter op i de nye vandløbsleje. Dette har sammen med en skånsom vedligeholdelse medvirket til at reducere vandføringsevnen, så den er blevet som den i regulativet foreskrevet.



*Figur 1. Skitse af Brede Å-dalen på den restaurerede strækning med placering af transekter og sedimentfælder i vinteren 1994/1995 og af målestationerne i vandløbet.*

*Figure 1. The restored reach of River Brede. Location of transects, sediment traps and river monitoring stations during the winter of 1994/95.*

Den godt 63 ha store ådal har en beskeden topografi (figur 1) men afgrænses både i mod nord og syd af en markant ådalsskrænt, som er op til 8 meter høj. Det gamle vandløb blev fyldt op med overskudsjord fra gravning af det nye leje, men fremstod nogle steder som en lavning i ådalen, som ved oversvømmelser kunne føre vandløbsvand langt nedstrøms de oversvømmede arealer. Endvidere betinger topografien, at det er svært at beskrive strømningsmønstrene for det vand der løber ind over brinkerne, idet visse områder oversvømmes af vand, der er løbet ind over vandløbets brinker opstrøms eller nedstrøms. Endvidere danner regnvand ofte søer i lavninger i ådalen, som senere blandes med indstrømmende åvand under med oversvømmelser af ådalen.

I undersøgelsesområdet blev der i efteråret 1994 udlagt 4 transekter, der skulle repræsentere forskellige ådals- og vandløbsforhold på den restaurerede strækning (figur 1). I efteråret 1995 blev udlagt 6 transekter ud fra erfaringerne med målingerne i det første måleår (figur 2). I hvert transekt blev der placeret en række fælder til at måle tilbageholdelsen af sediment, kvælstof, fosfor og organisk stof i forbindelse med oversvømmelser (se kapitel 5).

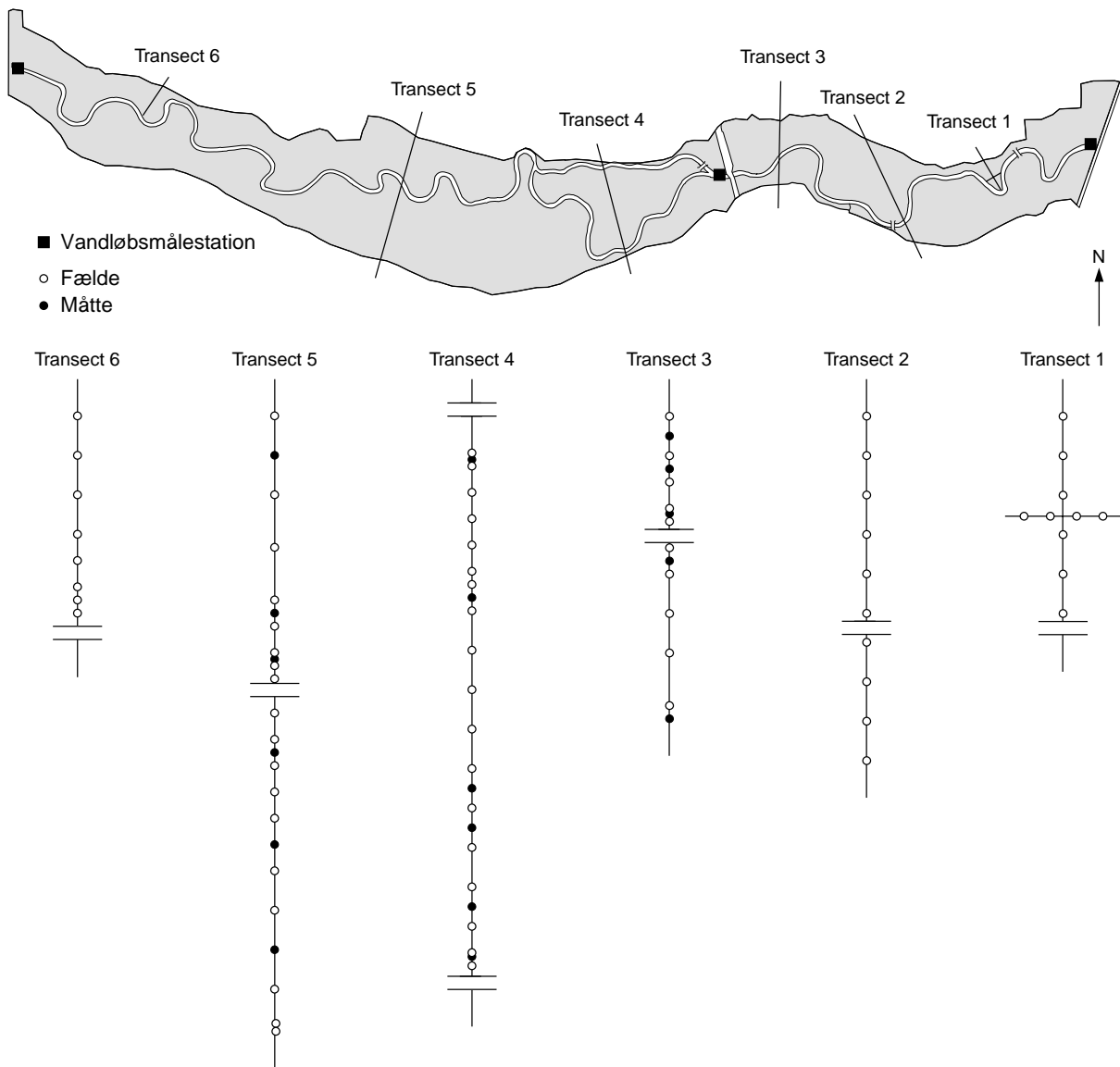
Oplandet til den restaurerede strækning er på 257 km<sup>2</sup>. Ved Bredebro (4-5 km nedstrøms den restaurerede strækning) har der været målt vandføring siden 1922. Middelvandføringen gennem 20 år før restaureringen har været 3,5 m<sup>3</sup>/s og har varieret mellem 0,2 og 26 m<sup>3</sup>/s. Medianminimumsvandføringen er beregnet til 1,0 m<sup>3</sup>/s.

Nedbørsforholdene i undersøgelsesperioden var usædvanlige, idet 1994 var rekordvåd og det meget regnfulde vejr fortsatte frem til og med marts 1995, således at vinteren 1994/95 var usædvanlig nedbørsrig (tabel 1). Efterfølgende var perioden fra april 1995 og hele 1996 usædvanlig nedbørsfattig således også vinteren 1995/96.

*Tabel 1. Nedbørsmængder i perioden oktober 1994 til september 1996 og i vinteren 1994/95 (november-april) og 1995/96 ved Brede Å sammenlignet med normalen for perioden 1961-90.*

*Table 1. Precipitation during the years 1994/95 and 1995/96 compared with the average precipitation for the period 1961-90.*

	okt	nov	dec	jan	feb	mar	apr	maj	jun	jul	aug	sep	vinter
<b>1994/95</b>	80	83	135	126	121	83	44	49	78	36	34	124	592
<b>1995/96</b>	34	53	27	8	49	11	4	60	27	43	67	68	152
<b>normal</b>	75	65	60	59	45	38	45	45	48	80	92	78	312



*Figur 2. Som figur 1 men for vinteren 1995/96.*

*Figure 2. Location of transects and sediment traps in the winter of 1995/96.*

## 5 Felt- og analysemetoder

### 5.1 Indledning

I dette kapitel beskrives de foretagne feltmålinger på de vandløbsnære arealer og de tilhørende analysemetoder i laboratoriet. Til måling af vandstand, vandføring og analyse af kemiske parametre i vandløbsvandet er der anvendt kendte måle- og analyseprocedurer, som anvendes under Vandmiljøplanens Overvågningsprogram (*Svendsen & Rebsdorf, 1994*). Beregning af vandstand med MIKE 11-modellen og beregninger af vandføring og stoftransport i vandløbet er nærmere beskrevet i *Kronvang et al. (1998)*.

Med hensyn til beregning af netto- og bruttotilbageholdelsen på de vandløbsnære arealer henvises til kapitel 6 og 7 i denne rapport.

### 5.2 Måling af bruttotilbageholdelsen

Feltmålingerne i disse undersøgelser er i princippet yderst simple. Fire transekter blev udlagt i oktober 1994 og 6 i oktober 1995 og i disse blev der sat et antal rørfælder samt græsmåtter (se figur 1 og 2). Fælderne består af et rør, der har en åbning på 7,2 cm er ca. 25 cm høje med bund. Dette rør placeres i et yderrør, som er gravet ned i jorden på en given position. Rørfælden fyldes med vand (for ikke at flyde væk i forbindelse med en oversvømmelse) og sættes ned i et yderrør og holdes fast med en klemme (foto 1). Ovenpå rørfælden placeres en kugle, som er så tung, at vinden ikke kan blæse den væk, men samtidig har en vægtfylde, der netop er mindre end vandets, så den kan flyde væk, når der strømmer vand ind over det. For ikke at miste kuglen er den fæstnet til yderrøret med en nylontråd (foto 2). Rørfælderne er placeret med en nogenlunde ensartet indbyrdes afstand, som i visse tilfælde er større jo længere væk fra vandløbet rørfælden er placeret. Ved hjælp af et nivellement, hvor en kendt kote blev hentet ned til ådalen, blev koten for toppen af alle opsatte rør og fælder bestemt. Disse er angivet i bilag 1.

Når vandet passerer hen over de vandløbsnære arealer vil der til stadighed ske en aflejring af materiale efterhånden som hastigheden falder, og vandmassens kompetence til at holde sedimentet i suspension mistes. Når vandmassen passerer hen over en rørfælde, vil materiale således også sedimentere i denne. Da der ikke er mulighed for at dette materiale senere kan genophvirvles fra fælden med vindens påvirkning, eller hvis hurtigtstrømmende vand løber hen over fælden, antager vi derfor, at en rørfælde måler bruttotilbageholdelsen. Ved høje vandhastigheder vil der dannes turbulens omkring røret, hvilket kan betyde, at strømhastigheden hen over røret øges og at rørfælden derved fanger lidt mindre materiale, end den burde. Det skønnes dog ikke at have nogen væsentlig betydning med de vandhastigheder, der har været tale om på de vandløbsnære arealer i Brede Å. Turbulens kan dog have haft indflydelse på rørfældernes effektivitet tæt ved vandløbet.

Rørfælderne blev opsat i oktober 1994 og blev herefter udskiftet fem gange i løbet af vinteren 1994/1995 med nye rørfælder (tabel 2). De optagne fælder blev tappet for

den mængde vand, der kunne fjernes, uden der skete en ophvirvling af det aflejrede materiale i fælden og kørt til laboratoriet, hvor materialet blev anbragt mørkt og koldt (4-5 °C), indtil det blev analyseret. Der blev opsat rørfælder i seks transekter i oktober 1995, men disse blev ikke skiftet i løbet af vinteren 1995/96, da der ikke blev observeret nogle oversvømmelser.

**Table 2.** Opsætning af rørfælder og græsmåtter på de vandløbsnære arealer ved Brede Å. Både rørfælder og græsmåtter er opsat i oktober 1994 og igen i oktober 1995. Transekt 1 i 1994/95 svarer stort set til transekt 2 i 1995/96, transekt 2 i 1994/95 til transekt 4 i 1995/96, transekt 3 i 1994/95 til transekt 5 i 1995/96.

**Table 2.** Timetable for the replacement of traps during the two winter periods 1994/95 and 1995/96. 1<sup>st</sup> colum: Year. 2<sup>nd</sup> colum: number of traps. 3<sup>rd</sup> colum: replacement date. 4<sup>th</sup> colum: grass mats collected.

	Antal rørfælder	Antal græsmåtter	Fælder skiftet den	Måtter hjemtaget
<b>1994/95:</b>				
Transekt 1	12	5	941024; 941206; 950201; 950308; 950505	950505
Transekt 2	12	5	941024; 941206; 950201; 950308; 950505	950505
Transekt 3	14	6	941024; 941206; 950201; 950308; 950505	950505
Transekt 4	6	3	941024; 941206; 950201; 950308; 950505	950505
<b>1995/96:</b>				
Transekt 1	10	5	maj 96	maj 96
Transekt 2	12	6	maj 96	maj 96
Transekt 3	10	5	maj 96	maj 96
Transekt 4	18	6	maj 96	maj 96
Transekt 5	18	6	maj 96	maj 96
Transekt 6	8	6	maj 96	maj 96

### 5.3 Måling af nettotilbageholdelsen

Der blev også opsat et antal "græsmåtter" i transekterne i både oktober 1994 og oktober 1995. Det er i praksis "grønne" plastikdørmåtter, der var skåret ud i 45 x 45 cm firkanter. De blev lagt på jorden, efter at vegetation og jord var fjernet således, at kanten af den græsmåtten var i samme højde som jordoverfladen, medens de lodrette "græsstrå" stak op over overfladen for at virke som naturlig græsvegetation (foto 3). Måtten var fæstnet i jorden med et stort søm i hvert hjørne og i midten med et jernspyd. Dette skulle sikre, at der ikke kunne løbe vand ind under måtten, og spyddet skulle sikre, at måtten kunne genfindes, selvom den skulle blive begravet i aflejret materiale. Græsmåtterne blev ikke skiftet i løbet af vinteren, men først fjernet i henholdsvis maj 1995 og maj 1996 og dækker således aflejringen fra hele vinterperioden. Måtterne blev forsigtigt løsnet fra overfladen og lagt i en stor spand. Hvor aflejringerne dækkede hele måtten blev denne omhyggeligt skåret fri fra jordoverfladen

for ikke at miste noget af det aflejrede materiale. I enkelte tilfælde stod måtterne stadig under vand i foråret 1995, og her var det svært ikke at undgå et mindre tab af aflejret materiale ved optagning af græsmåtten. Der kunne være tale om store mængder sediment, som blev aflejret på disse fælder (foto 4). Efter hjemkomst til laboratoriet blev græsmåtterne skyllet indtil alt materiale var fjernet og hældt over i en stor spand. Når materialet i spanden var bundfældet blev vandet tappet fra spanden, som var placeret mørkt og køligt. Herefter var materialet parat til videre analyse.

Græsmåtterne antages at give et mål for nettotilbageholdelsen (nettoaflejringen) i løbet af den periode, som fælden har været opsat. De skulle således give et mål for, hvad der efter en vinterperiode er aflejret et givent sted, idet græsmåtterne tillader at en del af det aflejrede materiale senere kan genophvirvles, hvis der strømmer rindende vand ind over måtterne, eller hvis vinden sætter stillestående vand i bevægelse hen over måtterne.

Foto 5 og 6 viser eksempler på aflejret materiale på de oversvømmede arealer i løbet af vinteren 1994/95. Det aflejrede materiale er lyst, og der er tale om betydelige mængder.

#### 5.4 Laboratorieprocedure

##### *Sedimentet i rørfælderne*

Det aflejrede materiale fra rørfælderne blev vådsigtet med tre sigter, således at materialet blev opdelt i tre fraktioner:

- materiale større end 2 mm kaldet fraktion A
- materiale mindre end 2 mm, men større end 0,250 mm, kaldet fraktion B
- materiale mindre end 0,250 mm kaldet fraktion C

Materialet i fraktion A bestod af blade, smågrene o.l., der var blevet tørret 24 timer ved 60°C og efterfølgende vejret, men er i øvrigt ikke medtaget i opgørelsen af de aflejrede mængder. Når der i det følgende tales om sediment, er det alt sediment der er under 2 mm, medens fint sediment er alt sediment under 0,25 mm.

Fraktion B og C blev tørret ved 110°C. Det tørrede materiale i fraktion B og C blev herefter vejret til tørstofbestemmelsen. Herefter blev en repræsentativ delmængde af fraktion B og C knust i en morter for at homogenisere materialet, da det er nødvendigt for at opnå reproducerbare resultater (*Svendsen et al., 1993*).

På det nedknuste materiale i fraktion C, blev der foretaget analyser for indholdet af kvælstof, fosfor og organisk stof. I enkelte tilfælde blev analyserne for fosfor, kvælstof og organisk materiale også udført på B-fraktionen.

Indholdet af kvælstof blev bestemt ved Kjeldahlmetoden (*Bremmer and Mulvaney, 1985*) på ca. 1 g delprøve af både fraktion B og C. Kjeldahlmetoden bestemmer det organiske kvælstofindhold i sedimentprøven.



Mellem 2 og 5 g af det knuste materiale i både fraktion B og C blev glødet to timer ved 550°C i en glødeovn. Glødetabet giver et mål for indholdet af organisk stof. På de glødede prøver blev der endvidere lavet en bestemmelse af det totale fosforindhold. Fosforindholdet i prøverne blev omdannet til opløst reaktivt fosfor ved at anvende 20 minutters udtrækning med kogende 1M HCl (Svendsen *et al.*, 1993). Det opløste reaktive fosfor blev herefter bestemt colorimetrisk efter udfarvning med molybdenblåt (Murphy & Riley, 1962). Der blev lavet dobbeltbestemmelser på ca. hver 7. prøve, herunder udtaget 2 repræsentative prøver til knusning og analyse.

#### *Sedimentet på græsmåtterne*

Sedimentet på græsmåtterne gennemgik i hovedtræk samme procedure som den, der er beskrevet for sedimentet i rørfælderne. Der var dog ofte tale om så store mængder, at det ikke var praktisk muligt at få analyseret hele mængden. Derfor blev materialet, der var skyllet af græsmåtterne først lufttørret og herefter vejjet. En repræsentativ underprøve på ca. 100 g blev herefter udtaget, vådsigtet og opdelt i en A, B og C fraktion, som beskrevet ovenfor.

Herefter fulgtes proceduren for rørfældematerialet med tørring, knusning og bestemmelse af indhold af kvælstof, fosfor og organisk stof. Ud fra den udtagne underprøve på ca. 100 g blev den samlede mængde tørstof på græsfælderne beregnet. Der blev lavet dobbeltbestemmelse for ca. hver 7. prøve.



**Foto 1.** Oversvømmet eng med rørfælde i forgrunden.



*Foto 2. Rørfælder med vedhæftet kugler og græsfælder.*



*Foto 3. Opstilling af græsmåtte ved rørfælder.*



*Foto 4. Aflejring af sediment vinteren 1994/95.*



*Foto 5. Aflejret materiale fra vinterperioden 1994/95.*



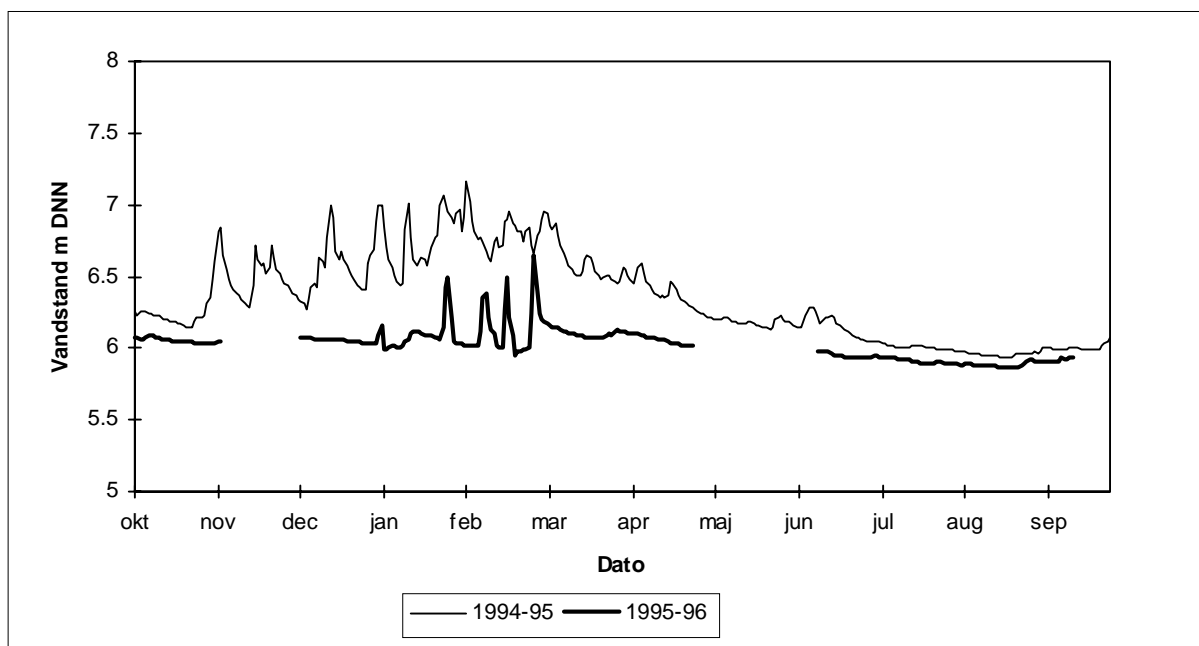
*Foto 6. Tilsanding af den ene del af dobbeltlejet i Brede Å, vinteren 1994/95.*



## 6 Resultater

### 6.1 Vandstand og oversvømmelse

Vandstanden i Brede Å i de to vinterperioder 1994/95 og 1995/96 var meget forskellige, og dermed var oversvømmelsesfrekvensen også forskellig. Den første vinterperiode var præget af mange høje vandstande og dermed af mange større og mindre oversvømmelser af de vandløbsnære arealer. Derimod var vinteren 1995/96 klimatisk særdeles tør, og vandstanden i Brede Å var lav og stabil og gav ikke anledning til oversvømmelser af de vandløbsnære arealer (figur 3). Dette bevirker, at der kun foreligger beregninger af tilbageholdelsen for den første vinterperiode (1994/95).

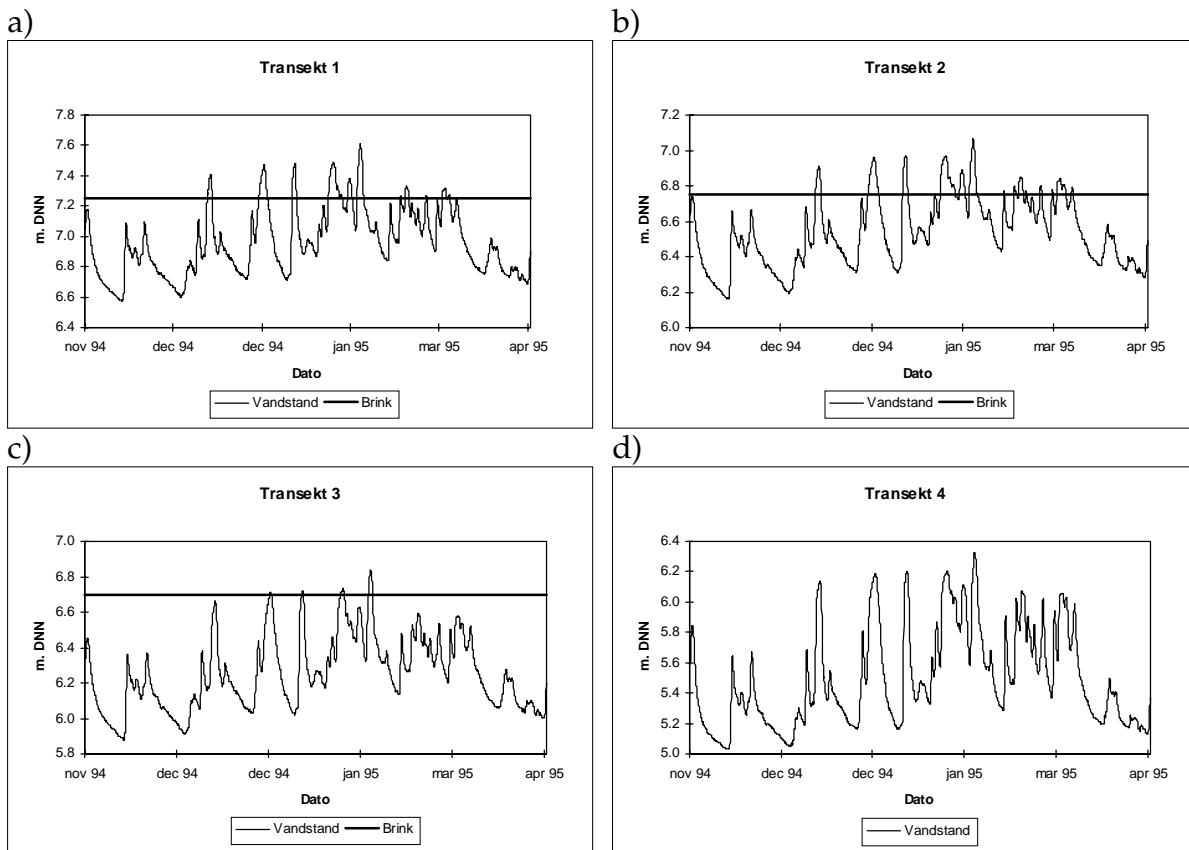


Figur 3. Vandstanden ved målestationen ved Ellum Bro.

Figure 3. Water level in the River Brede at Ellum Bridge during the winter periods.

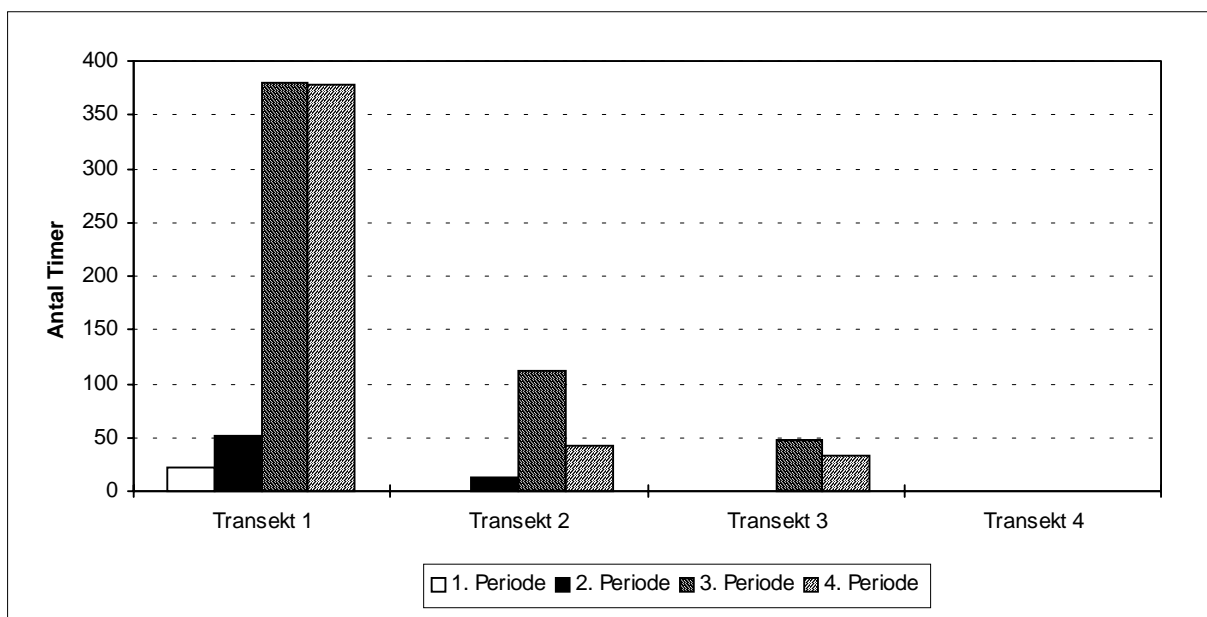
Der er ikke foretaget målinger af vandstanden på de vandløbsnære arealer. Opgørelsen af varigheden af oversvømmelserne bygger derfor på oplysninger om vandstanden i vandløbet ved hvert transekt, beregnet vha. MIKE 11-modellen. Der tages således ikke hensyn til, at vandet kan oversvømme de vandløbsnære arealer ved overskridelse af brinken opstrøms eller nedstrøms for transektet, hvilket ofte vil være tilfældet. I figur 4 (a-d) er vist en vandstandskurve for vandløbet ved hver transekt for perioden 1. november 1994 til 31. marts 1995. Der er indtegnet en horisontal linie, der angiver niveauet for begyndende oversvømmelse af de vandløbsnære arealer.

Vandstandskurven ved transekt 1 viser, at der har været oversvømmelse ved dette transekt i hver af de 4 første del-perioder (figur 4). Der foreligger ikke vandstandsdata fra den sidste del af måleperiode 5. Ved transekt 2 har der været oversvømmelse i delperiode 2, 3 og 4, medens der i transekt 3 har været oversvømmelse i delperiode 3 og 4. Ved transekt 4 har der ikke været oversvømmelse udfor selve transektet i vinteren 1994/95.



Figur 4. Vandstand i Brede Å ved de 4 transekter i vinteren 1994/95.

Figure 4. Water level in the River Brede at the 4 transects during the winter of 1994/95.



Figur 5. Varighed af oversvømmelserne ved de 4 transekter vinteren 1994/95.

Figure 5. Duration of the flooding at the 4 transects during the winter of 1994/95.

Varigheden af oversvømmelserne falder jo længere nedstrøms målestationen ved transekt 1, man kommer (figur 5 og tabel 3). Dette er gældende i alle delperioderne.

*Tabel 3. Varighed (timer) af oversvømmelserne i de 4 transekter i vinteren 1994/95.*

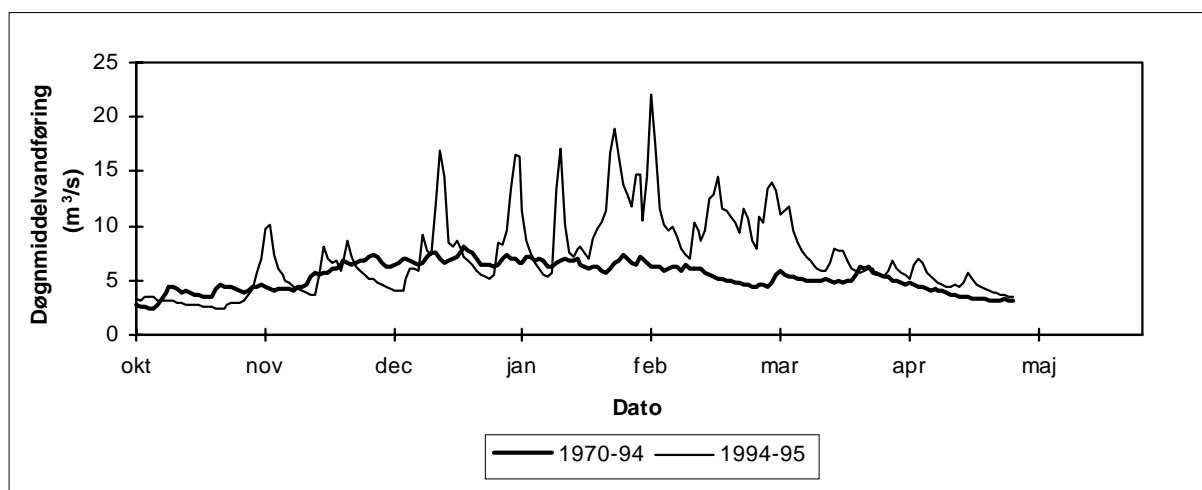
*Table 3. Duration in hours of the flooding of the 4 transects during the winter of 1994/95.*

	1. periode	2. periode	3. periode	4. periode	5. periode	Total
Transekt 1	22	51	380	378	-	831
Transekt 2	-	13	112	42	-	167
Transekt 3	-	-	48	33	-	81
Transekt 4	-	-	-	-	-	-

I transekt 4 forekommer der ikke oversvømmelse ifølge opgørelsen. Der er dog registreret tilbageholdelse i transektet, hvilket må betyde at der kommer vand til transektet ved overskridelse af brinken opstrøms eller nedstrøms. Det skal nævnes, at der kan forekomme oversvømmelse i længere tid end angivet i tabel 3, i det opgørelsen reelt kun inddrager antallet af timer hvor vandet kan strømme ind over brinken. Vandet kan altså stå de på vandløbsnære arealer i en længere periode end her angivet. Dette kan i beregningsfasen give anledning til en vis usikkerhed, idet den reelle oversvømmelsestid ikke kendes, når opgørelsen er baseret på vandstandsdata fra vandløbet.

## 6.2 Vandføring i Brede Å

Vandføringen i Brede Å i vinterperioden 1994/95 (oktober til maj) præges af mange vandføringstoppe grundet store mængder nedbør (figur 6).



*Figur 6. Døgnmiddelvandføringen ved Søgård Plantage i vinteren 1994/95 sammenlignet med 25 års døgnmiddelvandføringen ved Bredebro.*

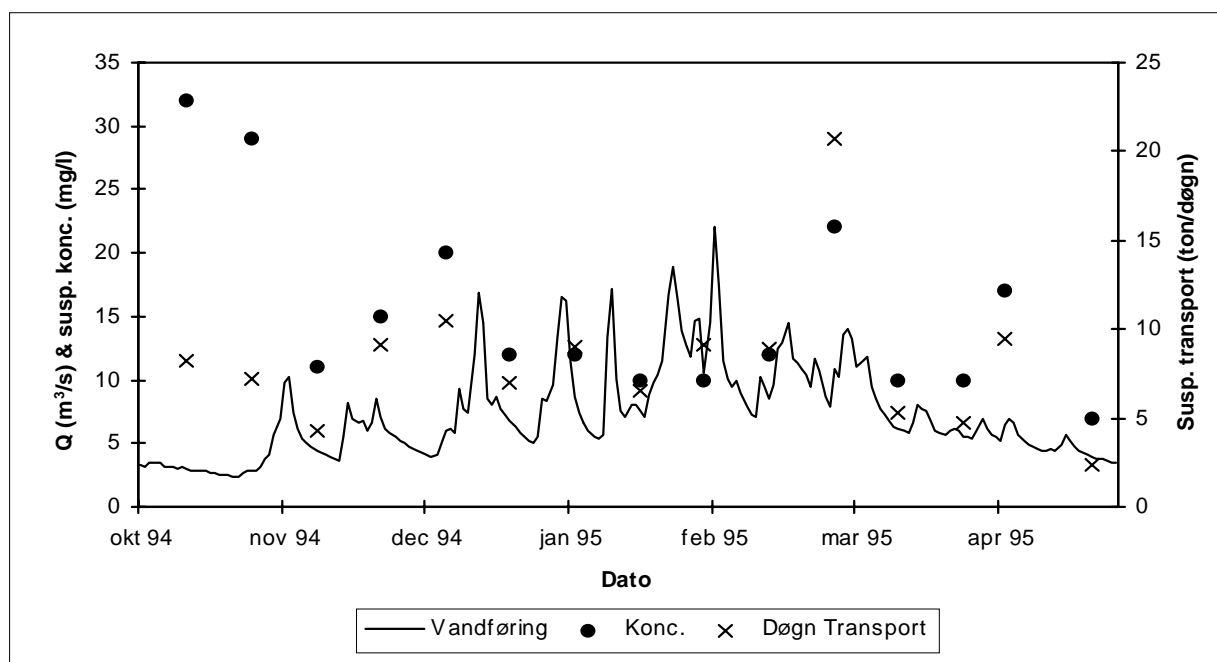
*Figure 6. Daily mean discharge at Søgård Plantage during the winter of 1994/95 compared with the 25 year daily mean discharge at Bredebro.*



Vandføringen i vinteren 1994/95 var usædvanlig høj sammenlignet med døgnmiddelvandføringen ved målstationen ved Bredebro (nedstrøms den restaurerede strækning) for de sidste 25 år før restaureringen (figur 6).

### 6.3 Stoftransport

Døgnmiddelvandføring, vandkemi og koncentration af suspenderet stof blev målt ved de to vandløbsstationer umiddelbart opstrøms og nedstrøms for den restaurerede strækning (figur 7).



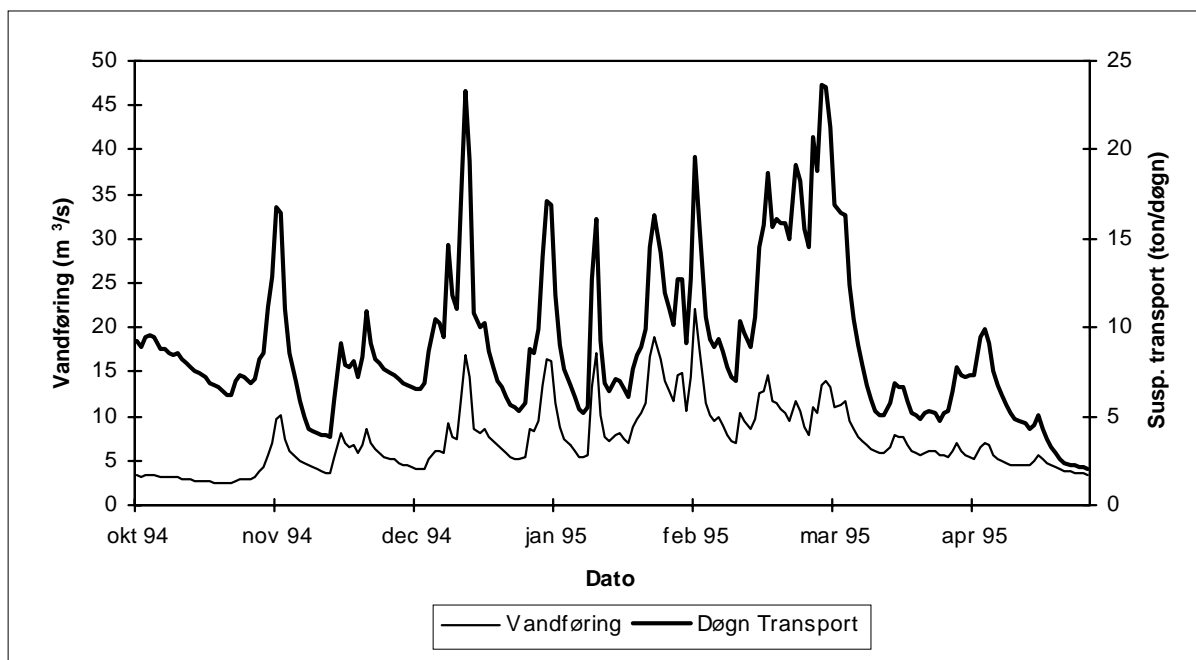
**Figur 7.** Døgnmiddelvandføring, koncentration af suspenderet stof, samt døgntransport af suspenderet stof på de dage, hvor der er målt koncentration i Brede Å ved Søgård plantage.

**Figure 7.** Daily mean discharge, concentration of suspended sediment and daily transport of suspended sediment in River Brede at Søgård Plantage, during the winter of 1994/95.

De høje koncentrationer af suspenderet stof, der forekommer i oktober 1994, skyldes sandsynligvis at vandløbets bund og sider var relativt ubeskyttede som følge af restaureringen. Den restaurerede strækning befandt sig dermed ikke i dynamisk ligevægt med sine omgivelser, hvilket bevirker, at der eroderes relativt meget materiale på strækningen. De to målinger af suspenderet stof i slutningen af november og begyndelsen af december 1994, er begge foretaget i forbindelse med at vandføringen i Brede Å er stigende, og det ses, at koncentrationen og transporten af suspenderet stof er relativt høj. Målingen i februar er foretaget ved en højere vandføring, hvor vandføringen er faldende. Koncentrationen og transporten af suspenderet stof er lavere end ved de to førnævnte målinger, på trods af den højere vandføring, hvilket er et mønster der før er set (Svendsen & Kronvang, 1993).

De højeste døgntransporter af suspenderet stof forekommer i november og december 1994 samt i februar og april 1995. De er alle knyttet til stigende vandføring. I de til-

fælde, hvor brinken overskrides, og der samtidig er en sedimenttransport i vandløbet, vil muligheden for store aflejringer være tilstede. Der transporteres store mængder suspenderet stof i forbindelse med vandføringstoppe i vinterperioden (figur 8).



**Figur 8.** Døgnmiddelvandføring og døgntransport ved Søgård plantage vinteren 1994/95.

**Figure 8.** Daily mean discharge and daily transport of suspended sediment at Søgård Plantage during the winter of 1994/95.

Målinger af transporten af suspenderet stof umiddelbart op- og nedstrøms den restaurerede strækning i vinteren 1994/95 viser, at der i måleperiode 1, 3 og 4 er en større transport ved den nedstrøms station, og i periode 2 og 5 er transporten størst ved den opstrøms målestation (tabel 4).

**Tabel 4.** Suspenderet transport i vandløbet opstrøms og nedstrøms den restaurerede strækning.

**Table 4.** Transport of suspended sediment upstream and downstream of the restored reach of River Brede.

	Transport opstrøms (ton)	Transport nedstrøms (ton)	Forskel i transport (ton)
1. Periode	143	320	177
2. Periode	210	170	- 40
3. Periode	241	400	159
4. Periode	355	450	95
5. Periode	514	380	-134
Total	1463	1720	257

Bundtransporten på strækningen blev ikke målt i forbindelse med overvågningen. Erfaringen viser at denne kan udgøre omkring 50-60% af den samlede sedimenttransport i vestdanske vandløb (Svendsen & Hansen, 1997). Under hensyntagen til

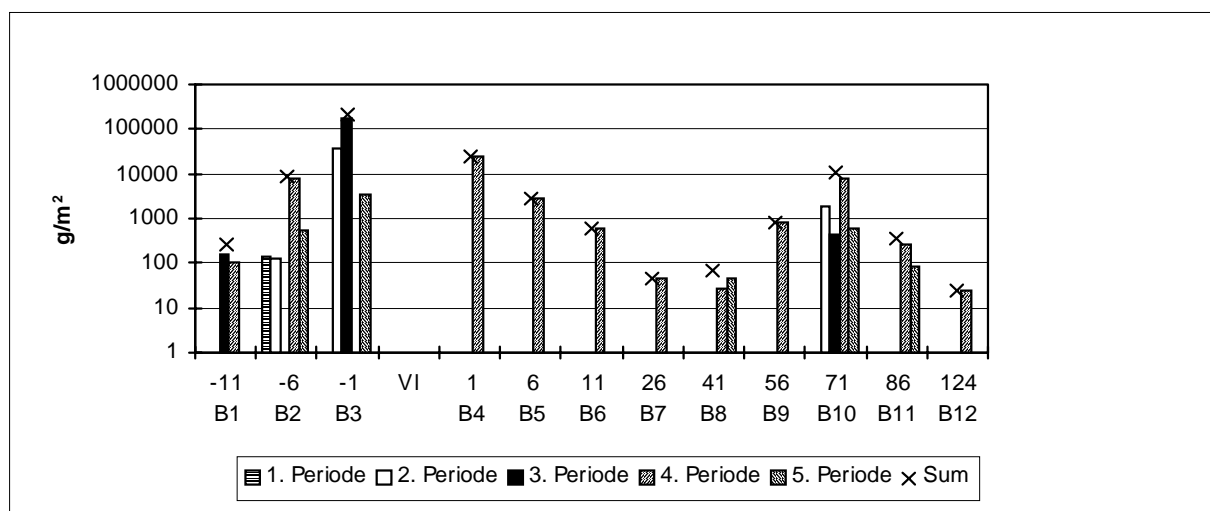
dette forhold kan den samlede sedimenttransport i vandløbet estimeres til ca. 3500 ton i denne periode. Der blev konstateret en stor sedimenttransport i løbet af denne vinter i vandløbet, pga. erosion som følge af formltilpasning i vandløbet. Dette gør at den samlede sedimenttransport på strækningen kan have været endnu større end estimerede total transport der er angivet ovenfor. Målingerne af den suspendede transport blev foretaget hver 14. dag. Svendsen et al. (1997) har vist at punktprøvetagning underestimerer den suspendede transport i vandløbet med op til 50% i.f.t. kontinuert prøvetagning. Dette gør, at den suspendede transport sandsynligvis er underestimeret, og dermed er den estimerede samlede transport også underestimeret det første år efter restaureringen, hvor der skete en betydelig formltilpasning i vandløbet.

#### 6.4 Bruttotilbageholdelse og aflejringsmønstre på de oversvømmede arealer

I dette afsnit præsenteres resultaterne af tilbageholdelsesmålingerne af sediment og fosfor. Tilbageholdelsen af organisk materiale og kvælstof er vist i bilag 2. Tilbageholdelsen er vist for hver delperiode samt som en sum af alle perioderne. For alle transekter gælder at mønstret i tilbageholdelsen generelt var det samme i alle delperioder. Tilbageholdelsen har været mest omfattende i delperiode 4.

Når der i det følgende tales om sediment menes alt materiale der er mindre end 2 mm, medens fint sediment er alt materiale mindre 0,25 mm. Indholdet af organisk stof, fosfor og kvælstof er analyseret på den del af sedimentet der er mindre en 0,25 mm.

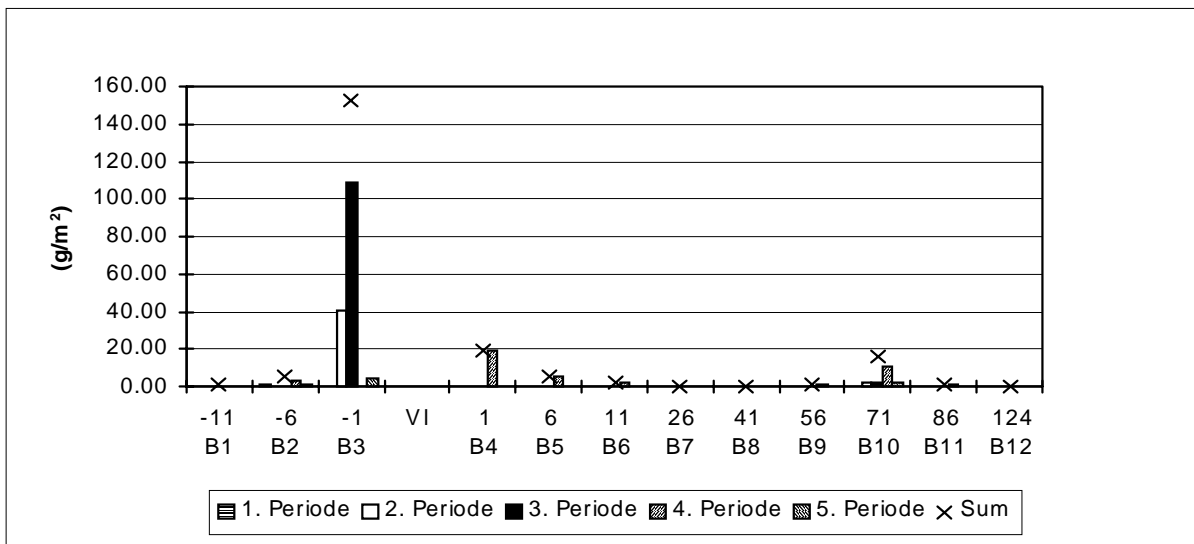
##### Transekt 1



**Figur 9.** Bruttotilbageholdelsen af sediment (< 2 mm) fordelt på delperioder i transekt 1. VI angiver vandløbets placering i transektet. (Bemærk logaritmisk y-akse).

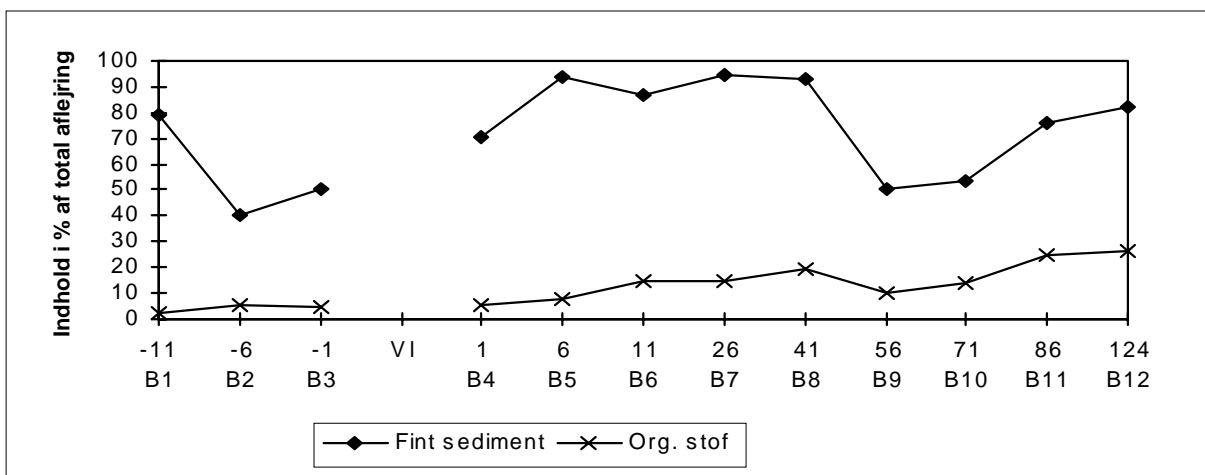
**Figure 9.** Gross retention of sediment (< 2 mm) in transect 1. VI indicates the location of the River Brede in the transect (Note: Logarithmic axis).

Den højeste sedimenttilbageholdelse fandt sted i fældeerne nærmest vandløbet (fælde B3 og B4), og faldt med afstanden til vandløbet. Fra fælde 7 til 10 steg tilbageholdelsen for igen at falde fra fælde 10 mod ådalsskrænten (figur 9). Fosfortilbageholdelsen var størst i fælde B3, ellers var tilbageholdelsen af fosfor identisk med sedimenttilbageholdelsen (figur 10).



*Figur 10. Bruttotilbageholdelsen af fosfor fordelt på delperioder i transekt 1.*

*Figure 10. Gross retention of phosphorus in transect 1. VI indicates the location of the River Brede in the transect.*



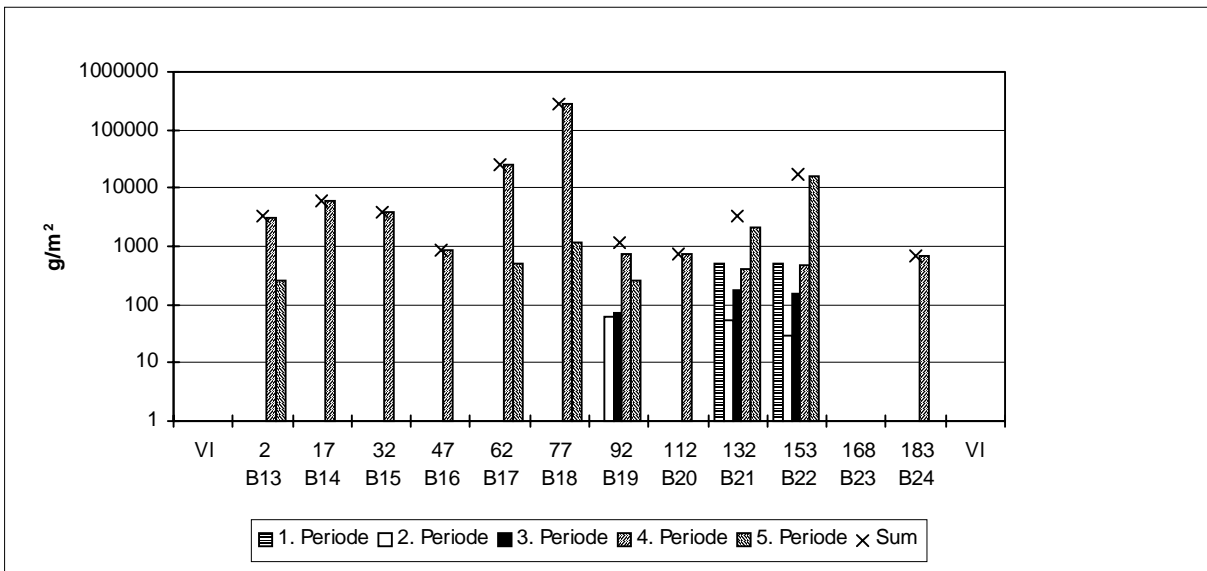
*Figur 11. Indholdet af fint sediment (< 0.25 mm) og indhold af organisk stof i rørfældeerne i transekt 1.*

*Figure 11. Percentage organic matter and percentage fine sediment (< 0.25 mm) of total gross retention in transect 1.*

Det relative indhold af fint materiale i fældene viser, at et lavt indhold af fint sediment er sammenfaldende med et lavt indhold af organisk stof. Ved fælde B9 og B10 faldt indholdet af fint sediment og organisk stof. Dette mønster svarer til at der er aflejret store mængder sediment i i området omkring fælde B10 (figur 11). Der var generelt et lavt indhold af fint sediment i de fælde hvor aflejringen var stor.

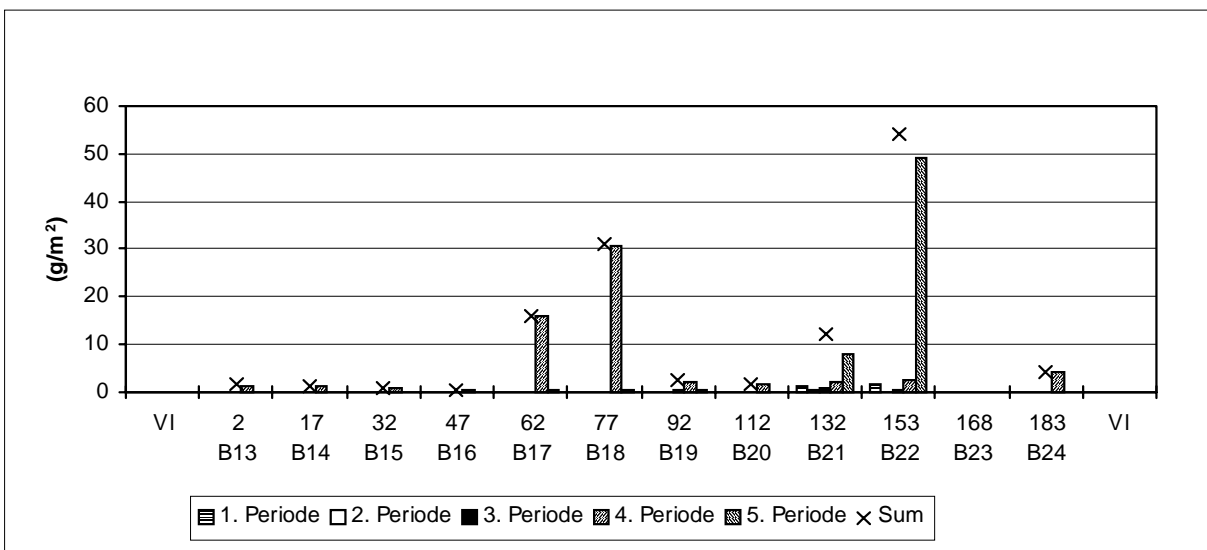
Transekt 2

Den største sedimenttilbageholdelse fandt sted midt i transektet ved fælde B17 og B18. Desuden var der en sekundær aflejringstop ved fælde B21 og B22. Disse to fæl-  
der var placeret nær det gamle vandløbsleje, der stadig visse steder fremstår som en  
lavning i de vandløbsnære arealer. Der aflejreredes intet materiale i fælde B23 (figur  
12).



Figur 12. Bruttotilbageholdelsen af sediment fordelt på delperioder i transekt 2 (bemærk loga-  
ritmisk y-akse).

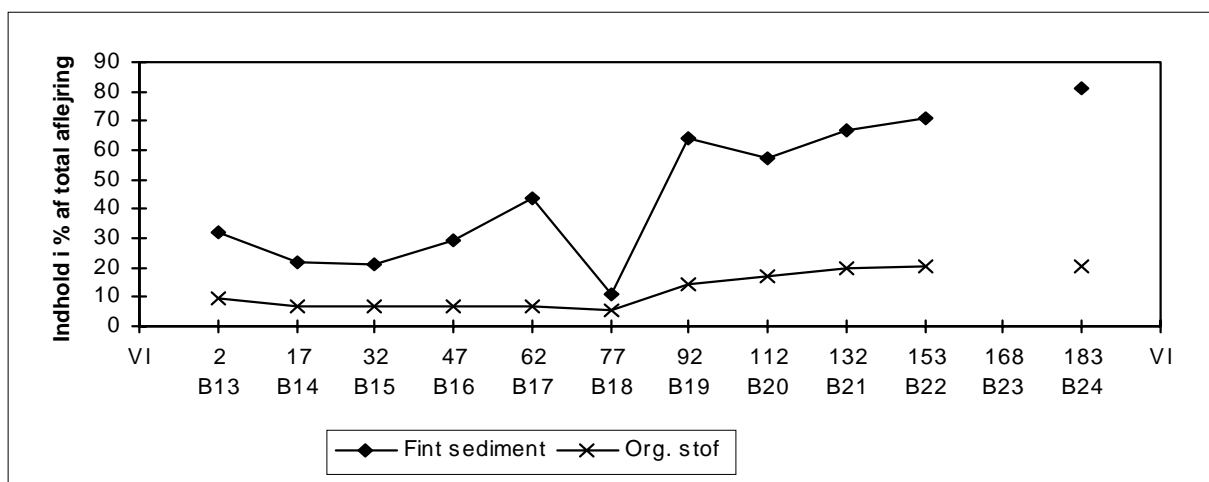
Figure 12. Gross retention of sediment in transect 2. VI indicates the location of the River  
Brede in the transect (Note: Logarithmic axis).



Figur 13. Bruttotilbageholdelsen af fosfor fordelt på delperioder i transekt 2.

Figure 13. Gross retention of phosphorus in transect 2. VI indicates the location of the River  
Brede in the transect (Note: Logarithmic axis).

Fosfortilbageholdelsen var størst i fælde B18, medens der også blev aflejret relativt store mængder fosfor i fælde B17 og B22 (figur 13).

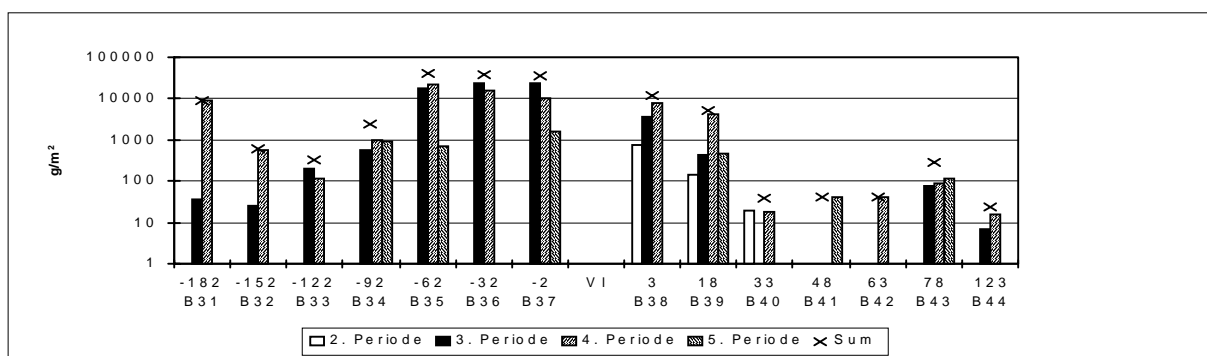


**Figur 14.** Indholdet af fint sediment (< 0.25 mm) og indholdet af organisk stof i rørfælderne i transekt 2.

**Figure 14.** Percentage organic matter and percentage fine sediment (< 0.25 mm) of total gross retention in transect 2.

Indholdet af fint sediment i fælderne faldt fra vandløbet og ind på de vandløbsnære arealer, hvorefter det steg igen frem til fælde B17. Det absolut laveste indhold af fint sediment findes i fælde B18. I fælderne længere inde på de vandløbsnære arealer steg indholdet af fint sediment og organisk stof til cirka det dobbelte af indholdet i fælderne mellem vandløbet og fælde B18 (figur 14).

### Transekt 3

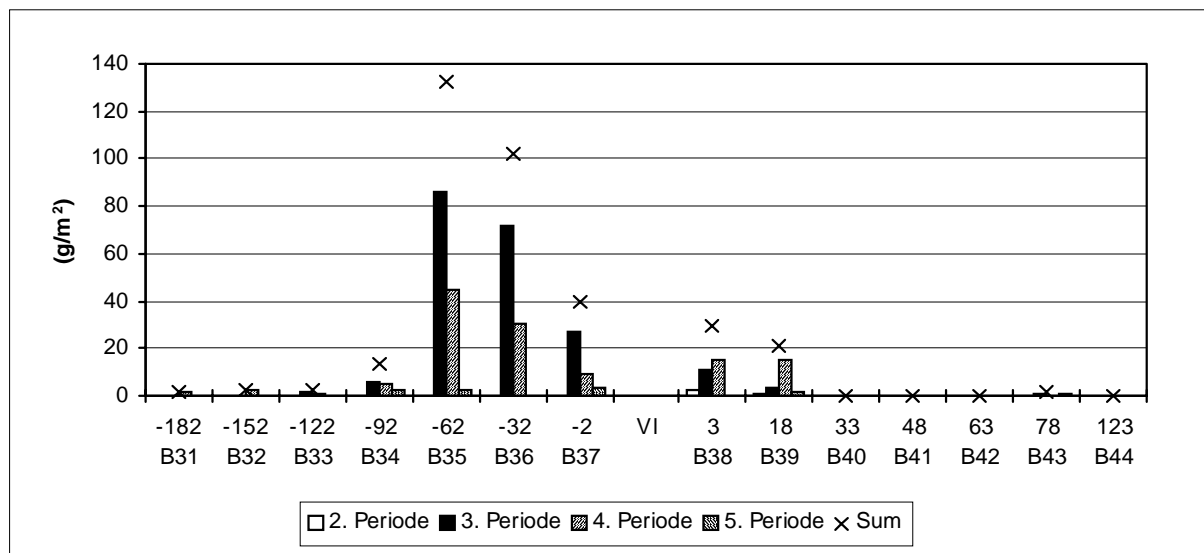


**Figur 15.** Bruttotilbageholdelsen fordelt på delperioder i transekt 3 (bemærk logaritmisk y-akse).

**Figure 15.** Gross retention of sediment in transect 3. VI indicates the location of the River Brede in the transect (Note: Logarithmic axis).

På den nordlige side af vandløbet steg sedimenttilbageholdelsen fra fælde B37 ved vandløbet til fælde B35, som ligger 62 m inde på engen. Herefter faldt tilbageholdel-

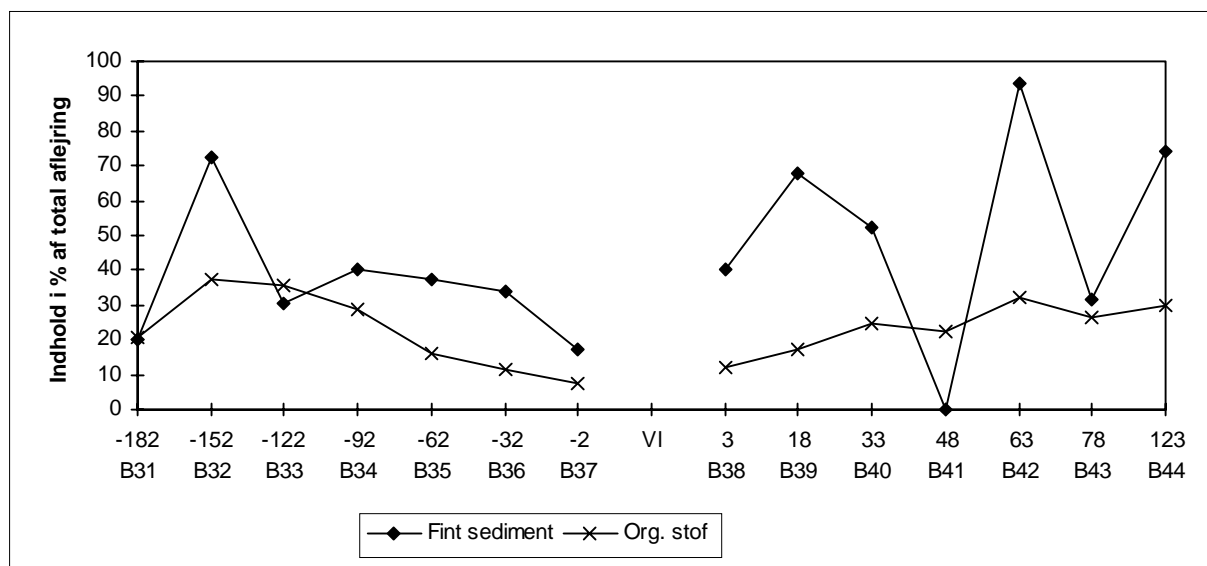
sen til ca. en 1/10 i resten af fældeerne ud mod ådalsskrænten (figur 15). Der var en lille stigning i tilbageholdelsen i fældeerne ved ådalsskrænten. Tilbageholdelsen på vandløbets sydlige side var højst i de to fælde nærmest vandløbet. Fra fælde B40, ca. 33 m inde på engen var tilbageholdelsen ubetydelig. Der var en sekundær top i tilbageholdelsen i fælde B43.



Figur 16. Bruttotilbageholdelsen af fosfor fordelt på delperioder i transekt 3.

Figure 16. Gross retention of phosphorus in transect 3. VI indicates the location of the River Brede in the transect.

Fosfortilbageholdelsen var størst i fældeerne B35 til B39, mens tilbageholdelsen i de andre fælde i transektet var relativ beskedne i forhold hertil (figur 16).

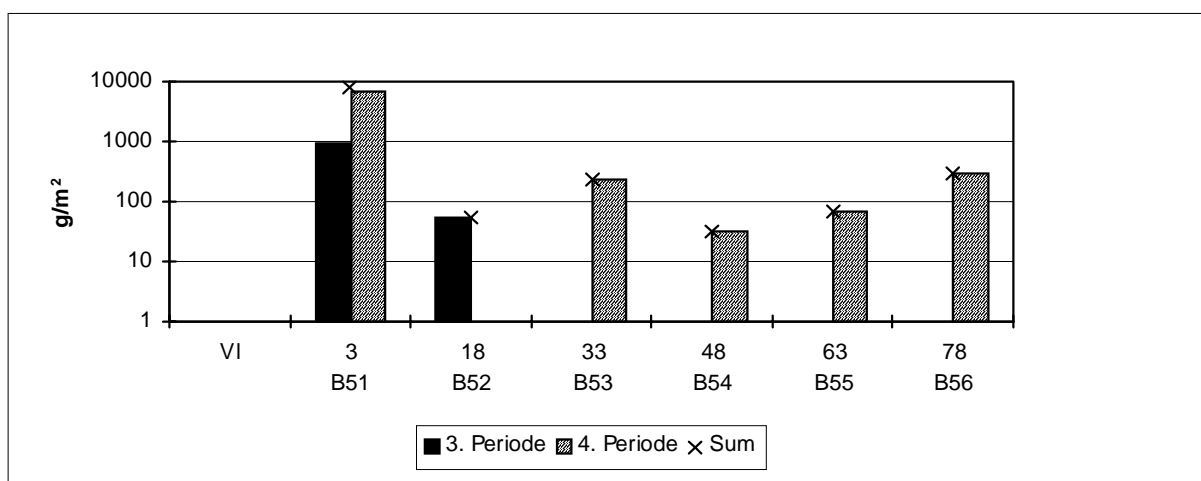


Figur 17. Indholdet af fint sediment (< 0.25 mm) og indholdet af organisk stof i rør-fældeerne i transekt 3.

Figure 17. Percentage organic matter and percentage fine sediment (< 0.25 mm) of total gross retention in transect 3.

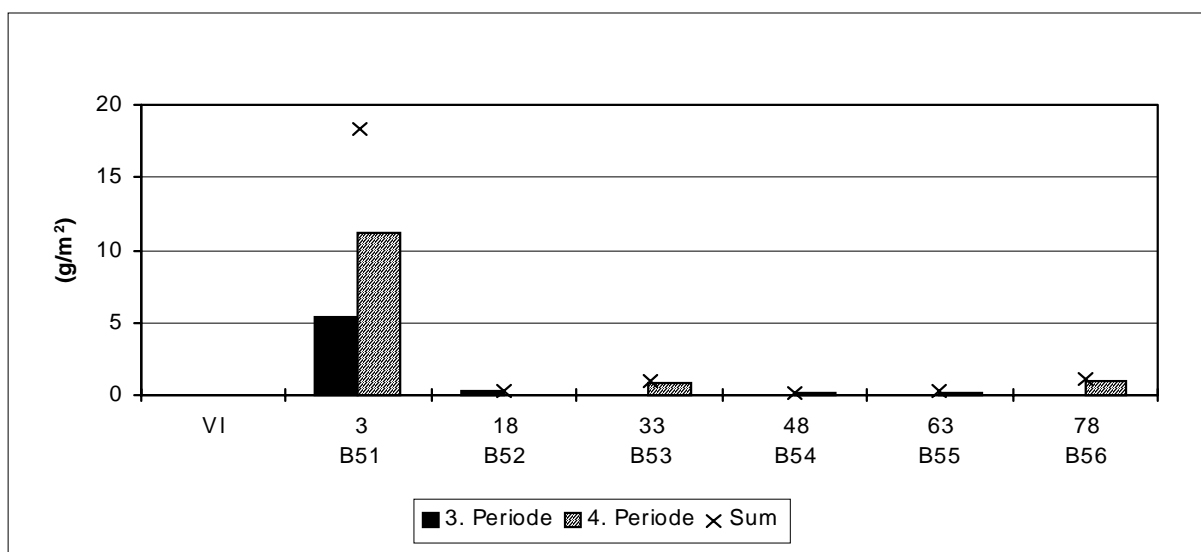
Der var er en tendens til at indholdet af fint sediment i fælterne faldt ved store aflej-  
ringer. Dette ligner billedet ved transekt 2. Fordelingen af fint sediment og organisk  
stof er dog svært at tolke end ved de andre transekter, idet der ikke nødvendigvis er  
en tydelig sammenhæng mellem indholdet af fint sediment og størrelsen af aflejrin-  
gen i fælterne. Indholdet af organisk stof stiger på begge sider af vandløbet, når man  
bevæger sig væk fra vandløbet. Der var et lille fald i indholdet ved fælde B31 hvor  
der var en stor total aflejring af sediment (figur 17).

#### Transekt 4



**Figur 18.** Bruttotilbageholdelsen fordelt på delperioder i transekt 4 (bemærk logaritmisk y-akse).

**Figure 18.** Gross retention of sediment in transect 4. VI indicates the location of the River Brede in the transect (Note: Logarithmic axis).

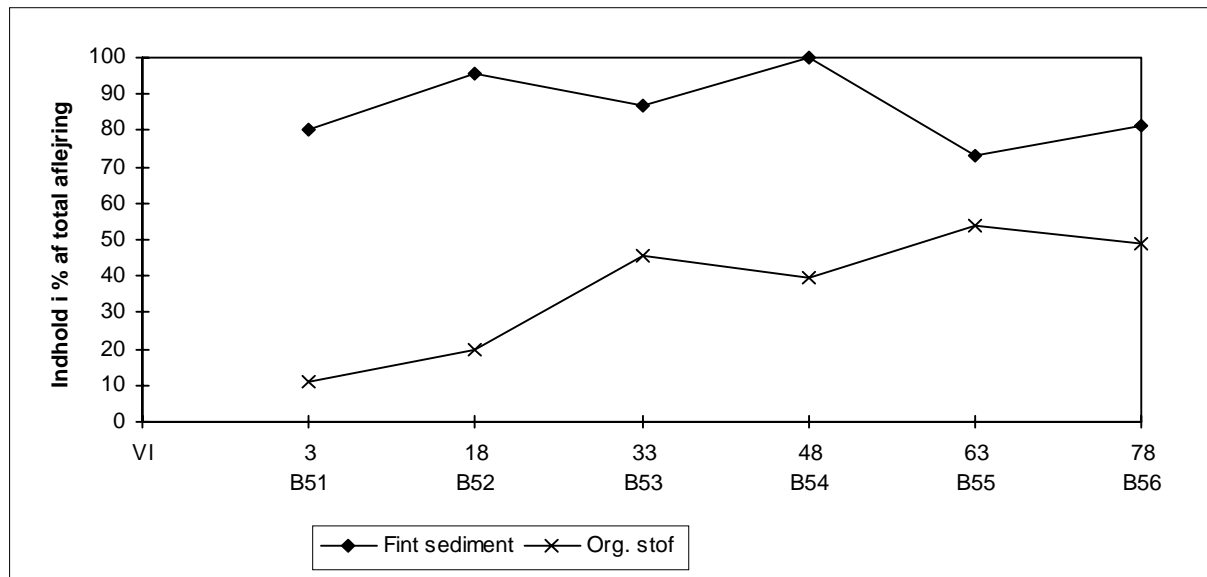


**Figur 19.** Bruttotilbageholdelsen af fosfor fordelt på delperioder i transekt 4.

**Figure 19.** Gross retention of phosphorus in transect 4. VI indicates the location of the River Brede in the transect.



Tilbageholdelsen af materiale var størst i fælden tæt ved vandløbet, medens der i resten af fælderne ikke blev aflejret materiale af betydning (figur 18). I fælde B53 og fælde B56 hhv. 33 m og 48 m fra vandløbet var der aflejret mere end i de omkringliggende fælder (figur 18 & 19).



**Figur 20.** Indholdet af fint sediment (< 0.25 mm) og indholdet af organisk stof i rørfælderne i transekt 4.

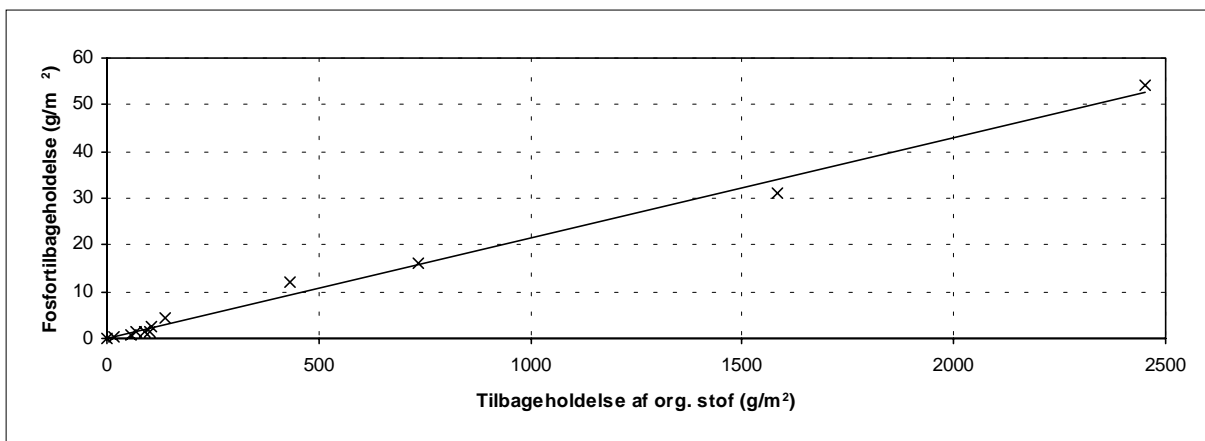
**Figure 20.** Percentage organic matter and percentage fine sediment (< 0.25 mm) of total gross retention in transect 4.

Indholdet af fint materiale varierer med afstanden fra vandløbet. Der ses ingen generel sammenhæng mellem total aflejring i fælderne og indholdet af fint sediment. Indholdet af organisk stof stiger væk fra vandløbet. Variationerne i indholdet af organisk stof i mellem fælderne er modsat variationerne i indholdet af fint sediment (figur 20).

### 6.5 Materialesammensætningen i rørfælderne

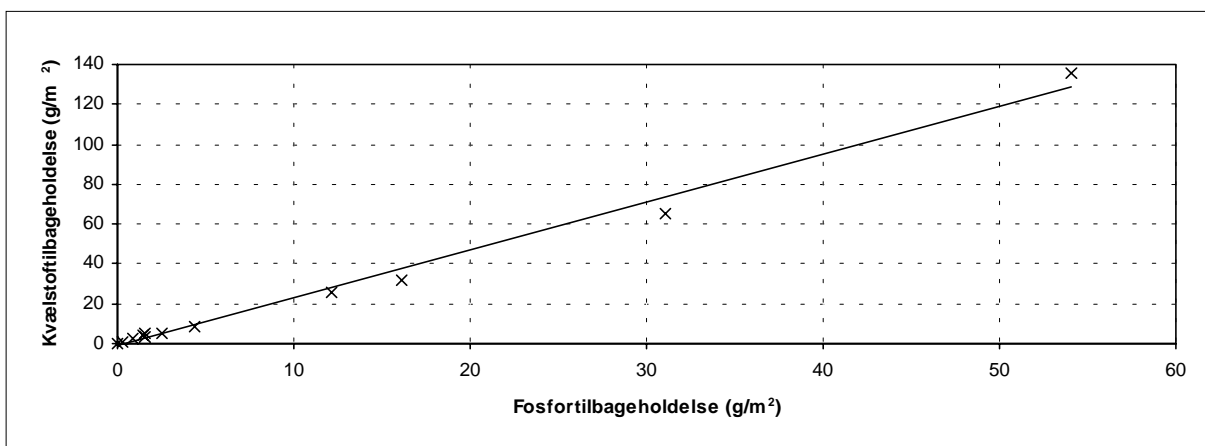
Der er en sammenhæng mellem tilbageholdelsen af organisk materiale og fosfor. Fosfor og organisk materiale findes ofte sammen i naturligt aflejret sediment. I figur 21 er som eksempel vist sammenhængen mellem bruttotilbageholdelsen af organisk materiale og bruttotilbageholdelsen af fosfor i transekt 2 for alle 5 perioder. Regressionskoefficienten ( $R^2$ ) for den indlagte tendenslinie er 0,99.

Der findes også en sammenhæng mellem tilbageholdelsen af kvælstof og fosfor, som det fremgår af figur 22. Som eksempel er vist bruttotilbageholdelsen fra transekt 2. Regressionskoefficienten ( $R^2$ ) for tendenslinien i figuren er 0,99.



*Figur 21. Sammenhæng mellem bruttotilbageholdelsen af organisk materiale og bruttotilbageholdelsen af fosfor i transekt 2.*

*Figure 21. Comparison of gross retention of organic matter and gross retention of phosphorus in transect 2.*



*Figur 22. Sammenhæng mellem bruttotilbageholdelsen af kvælstof og fosfor i transekt 2.*

*Figure 22. Comparison of gross retention of nitrogen and gross retention of phosphorus in transect 2.*

De signifikante sammenhænge mellem tilbageholdelsen af organisk stof og fosfor, og tilbageholdelsen af fosfor og kvælstof gælder kun for det viste transekt. Men andre lignende sammenhænge kan opstilles for alle transekter i denne undersøgelse. Resultaterne svarer til, hvad der er fundet i andre lignende undersøgelser (Falkum, 1996).

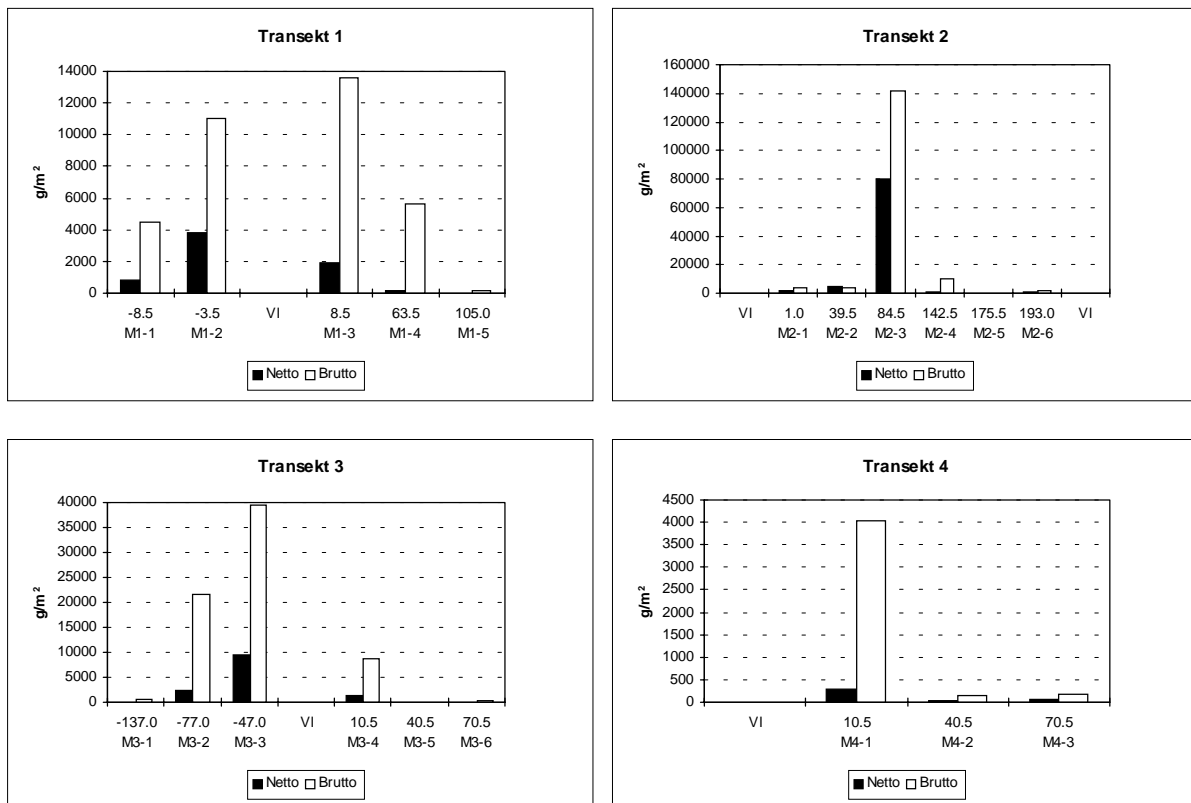
### 6.6 Sammenligning af netto- og bruttotilbageholdelsen

Bruttotilbageholdelsen kan defineres som den aflejrede materiale mængde efter en oversvømmelseshændelse uden fjernelse af aflejret materiale. Forskellen på brutto- og nettotilbageholdelsen er, at nettotilbageholdelsen er påvirket af omlejringsprocesser som eksempelvis resuspension. Nettotilbageholdelsen er altså den resulterende tilbageholdelse efter en oversvømmelseshændelse, hvor forskellige processer har haft mulighed for at påvirke tilbageholdelsen.

Bruttotilbageholdelsen blev målt over 5 delperioder, som angivet ovenfor. Nettotilbageholdelsen blev målt i 1 periode, der dækker alle delperioderne (1-5). I denne undersøgelse vil det materiale, der er aflejret på græsfælderne (nettotilbageholdelsen), potentielt kunne have været udsat for omlejringsprocesser under alle oversvømmelser i vinteren 1994/95.

Græsfælderne er placeret mellem to rørfælder. Dette betyder, at det skal overvejes, hvordan målingerne med de to fældertyper relateres til hinanden. Den simple metode er at antage, at bruttotilbageholdelsen ved en græsfælde vil være lig med middelværdien af bruttotilbageholdelsen i de to omkringliggende rørfælder.

De fysiske forhold i transekterne gør at forskellene i tilbageholdelsesforholdene er vanskelige at tolke, fordi vandet ikke nødvendigvis strømmer ind på det vandløbsnære areal vinkelret på vandløbets forløb, men kan strømme ind opstrøms og nedstrøms herfor. Dette betyder, at der er en vis usikkerhed forbundet med at beregne bruttotilbageholdelsen i et tilfældigt punkt i transektet, idet aflejrings- og strømforholdene kan gøre, at antagelsen om tilbageholdelsens afhængighed af afstanden ikke holder.



**Figur 23.** Sammenligning mellem brutto- og nettotilbageholdelsen af sediment (< 2 mm) (bemærk at der ikke er samme skala på y-akserne).

**Figure 23.** Comparison of gross and net retention of sediment (< 2 mm) in the four transects.

Bruttotilbageholdelsen er på nær et enkelt sted større end nettotilbageholdelsen. Forskellen mellem brutto- og nettotilbageholdelsen er ideelt set den del af materialet, der er resuspenderet og ført bort fra transektet i forbindelse med en oversvømmelse. Under resuspension vil det fine materiale i græsfælderne blive bragt i transport igen og dermed forlade græsfælden. De højere vandhastigheder nær vandløbet medfører at resuspensionen fra græsfælderne øges, hvilket burde give en mindre nettotilbageholdelse og dermed en større forskel mellem brutto- og nettotilbageholdelsen. Materialet der aflejres tæt ved vandløbet vil typisk være det groveste, hvilket betyder at det er sværere at få bragt i suspension igen. Om det er vandets hastighed eller størrelsen af det aflejrrede sediment der er styrende for resuspensionens størrelse, er svært at sige. Det er i virkeligheden en kombination af de faktorer der er styrende. I transekt 4, hvor forholdene er lidt mindre komplicerede forholder det sig således (figur 23). I bilag 3 er vist sammenligninger mellem brutto- og nettotilbageholdelsen for organisk stof, fosfor og kvælstof.

På den nordlige side i transekt 1 er forskellen mellem brutto- og nettotilbageholdelsen størst ved vandløbet og falder ud mod ådalsskrænten. På sydsiden er forskellen mindst tæt ved vandløbet, og stiger derefter ud mod ådalsskrænten (figur 23). De største aflejringer finder sted nær vandløbet.

I transekt 2, hvor aflejringsforholdene er meget vanskelige at tolke, tegner der sig ikke et klart mønster i forholdet mellem brutto- og nettotilbageholdelsen. Forskellen mellem brutto- og nettotilbageholdelsen er dog mindre her end i de andre transekter. Dette kan skyldes at de fleste fælder står langt fra vandløbet, og vandhastighederne på de vandløbsnære arealer er moderate. Det kan også forklare de store aflejringer midt i transektet. Dette kan dog også skyldes at der dannes et sekundært løb, på "øen", hvor der kan tilføres store mængde sediment ved oversvømmelseshændelser (figur 23).

I transekt 3 er der ikke noget klart mønster i forholdet mellem brutto- og nettotilbageholdelsen. Aflejringen er dog stort tæt ved vandløbet og falder ud mod ådalsskrænterne (figur 23).

I transekt 4 findes den største bruttotilbageholdelse tæt ved vandløbet. Forskellen mellem brutto- og nettotilbageholdelsen er størst tæt ved vandløbet, hvilket indikerer, at de højere vandhastigheder medfører en større resuspension af materiale på græsmåtterne på dette sted (figur 23).

## **6.7 Materialesammensætningen græsmåtterne**

### *Kornstørrelsesfordeling på græsmåtterne*

Resuspension kan bevirke at en del af det fine sediment, der er aflejret i græsfælderne, vil blive bragt i transport igen i forbindelse med en ny oversvømmelse. Dette gør at det kan være svært at se et mønster i indholdet af fint sediment i fælderne (figur 24).

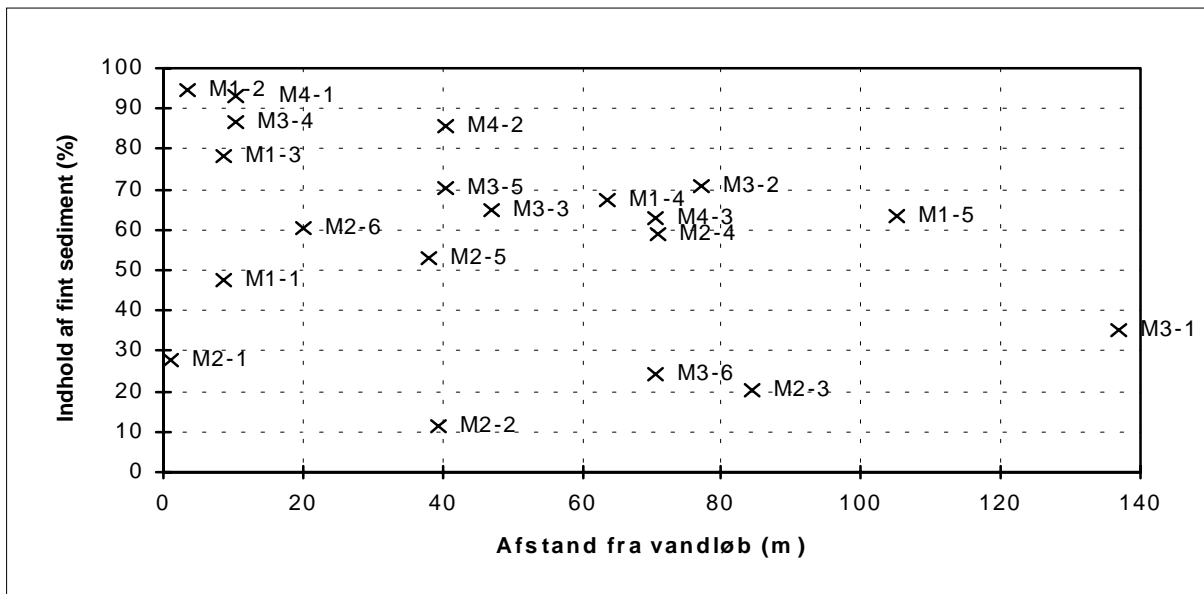


Figure 24. Fordeling af fint sediment (< 0,25 mm) på græsmåtterne.

Figure 24. Fine sediment (< 0.25 mm) in the net retention.

Indhold af organisk stof, kvælstof og fosfor i sedimentet på græsmåtterne

Der er en faldende tendens i indholdet af organisk materiale på græsmåtterne med afstanden til vandløbet. I figur 25 er det organiske indhold i materialet på græsfælderne vist som funktion af afstanden til vandløbet. Tendensen er dog ikke signifikant (t-test, 5% niveau), og der kan derfor ikke opstilles nogen generel model for tilbageholdelsen af organisk materiale.

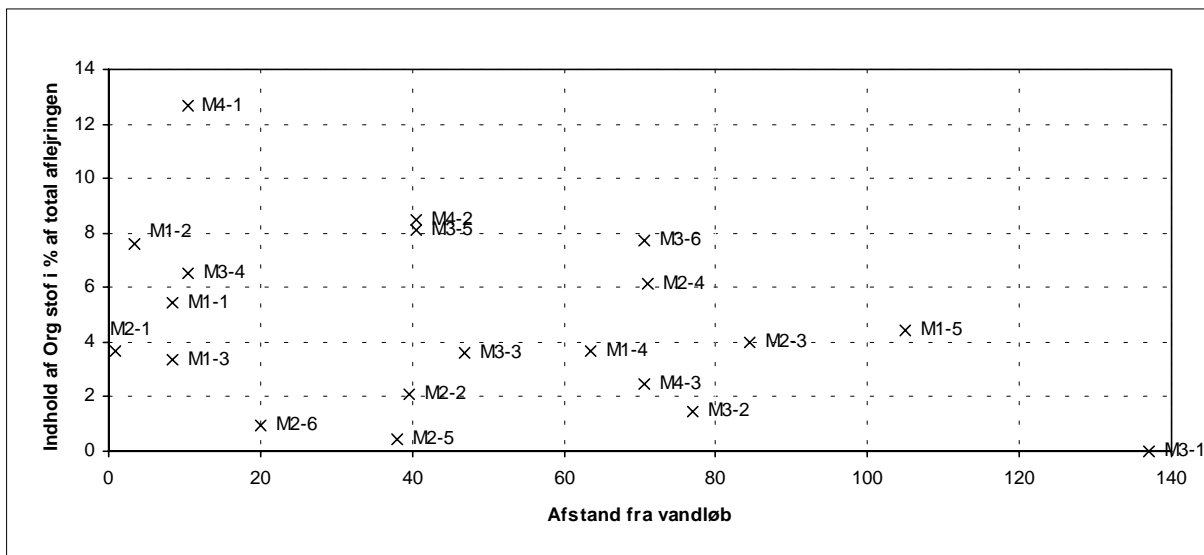
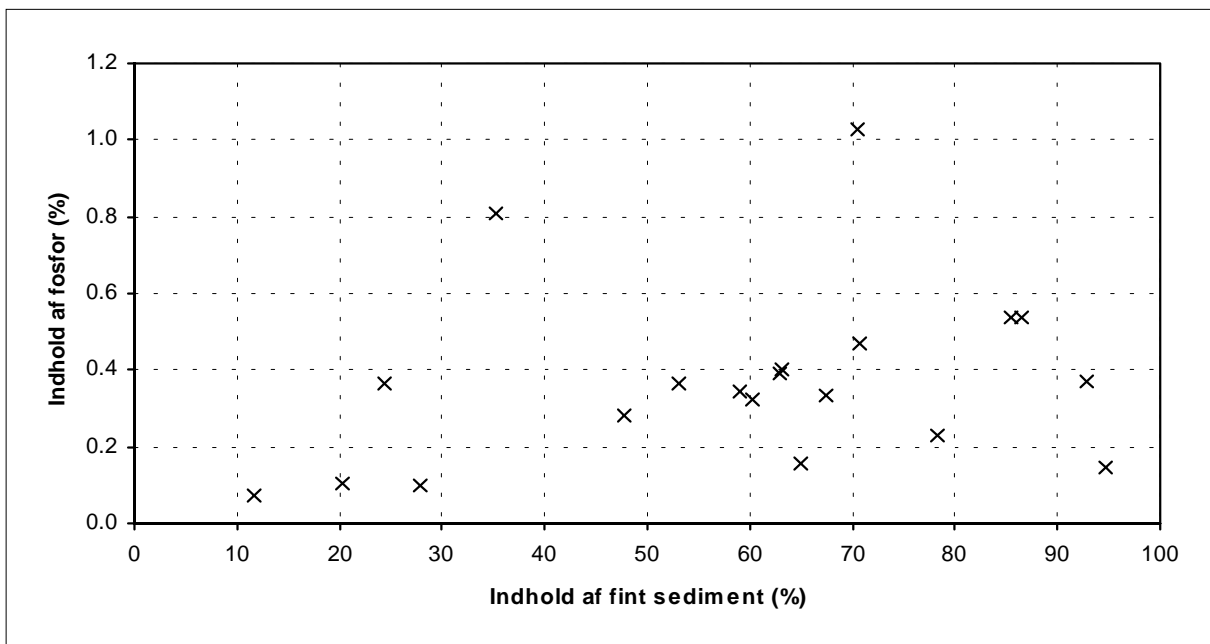


Figure 25. Indhold af organisk materiale i nettotilbageholdelsen.

Figure 25. Percentage organic matter in the net retention.

Ideelt set ville man forvente at indholdet af organisk materiale ville stige med stigende afstand til vandløbet, idet det organiske stof knytter sig til aflejringen af fint sediment, som aflejres sidst (altså længst væk fra vandløbet). I figur 25 er der ikke

rigtigt noget mønster i forholdet mellem indholdet af organisk stof og afstanden til vandløbet. Forklaringen på dette kan være, at afstanden til vandløbet ikke er nogen god indikator for hvor langt materialet er transporteret, idet afstanden til vandløbet i dette tilfælde er afstanden i transektet vinkelret på vandløbet. Denne afstand er ikke nødvendigvis en god parameter, da vandet kan have oversvømmet de vandløbsnære arealer andre opstrøms eller nedstrøms transektet. En anden forklaring kunne være, at noget af det aflejrede materiale kan være resuspenderet i forbindelse med gentagne oversvømmelseshændelser, og kan dermed være fjernet fra fælderne. Tendensen er den samme for kvælstof og fosfor som den for organisk stof viste.



*Figur 26. Indhold af fosfor som funktion af indholdet af fint sediment i nettotilbageholdelsen.*

*Figure 26. Percentage phosphorus of fine sediment content (< 0.25 mm).*

Der er en sammenhæng mellem indholdet af fint sediment og indholdet af fosfor, der indikerer at fosfor primært knytter sig til de fine sediment. Der er dog ingen entydig afhængighed (figur 26). Sedimentet er under påvirkning af resuspension når det ligger på græsfælderne. Dette kan give anledning til at forholdet mellem fint sediment og fosfor ændres, således at der ikke er en god sammenhæng mellem indholdet af fosfor og indholdet af fint sediment.

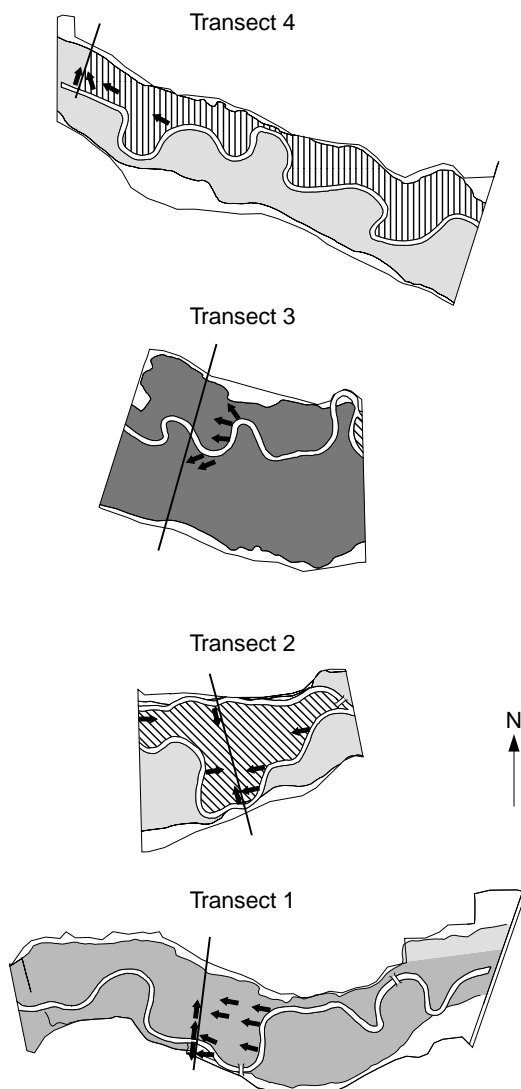
## 6.8 Strømningsmønster på engene

På baggrund af aflejningsmønstrene ved de 4 transekter, de topografiske opmålinger af ådalen og vandstandene, der er beregnet med MIKE 11-modellen, er det muligt at beskrive de mulige strømningsmønstre ved oversvømmelserne i de 4 transekter i vinteren 1994/95 (figur 27).

### Transekt 1

Oversvømmelserne i transekt 1 ser ud til at ske dels i transektet vinkelret på vandløbet, dels ser det ud til, at der strømmer vand ind opstrøms for transektet. Denne

oversvømmelse gør, at der sandsynligvis bliver dannet et sekundært løb på engen ved fælde 10, hvilket kan ses af de store mængder der er aflejret og den grovkornede sammensætning i fælde 9-11 & 27).



**Figur 27.** Strømningsmønstre ved de 4 transekter i vinteren 1994/95.

**Figure 27.** Flow patterns during flooding of the four transects during the winter of 1994/95.

#### Transekt 2

Her oversvømmes transektet både fra nordlige og sydlige gren af vandløbet, og samtidig dannes der et sekundært løb på engen ved fælde B18, ved indstrømning af vand opstrøms transektet. Ved fælde B18 sker der en stigning i aflejringen, og samtidig falder indholdet af fint sediment (figur 12-14 & 27).

#### Transekt 3

Ved transekt 3 er mønsteret lidt mere kompliceret. Her dannes sandsynligvis små sekundære løb ved fælde B31, B33, B41 og B43, samtidig sker der også oversvømmelse i selve transektet (figur 15-17 & 27). Igen er det aflejringen og indholdet af fint sediment, der leder til denne konklusion.

#### *Transekt 4*

Oversvømmelserne i transekt 4 sker primært opstrøms selve transektet. Der er ikke beregnet oversvømmelser ud for selve transektet, med MIKE 11-modellen. Dette udelukker dog ikke at der kan være sket oversvømmelser (figur 18-20 & 27).





## 7 Beregning af tilbageholdelsen

### 7.1 Indledning

Ideelt set kan mængden af aflejret materiale på de oversvømmede vandløbsnære arealer bestemmes ved hjælp af modellering der inddrager de fysiske forhold under en oversvømmelseshændelse. *Falkum et al. (1997)* og *Asselman og Middelkoop (1995)* beskriver modeller der beskriver aflejringen på de vandløbsnære arealer som funktion af:

- Afstanden fra vandløbet
- Vandstand / vandvolumen på de oversvømmede arealer
- Varigheden af oversvømmelsen
- Koncentrationen af sediment i vandet der oversvømmer engene
- Vandskiftet på det vandløbsnære areal

Ved at inddrage koncentrationen af suspenderet materiale i vandet der oversvømmer engene, kan størrelsen af tilbageholdelsen i forskellige oversvømmelsesperioder sammenlignes. Da tilbageholdelsen på de vandløbsnære arealer sandsynligvis stammer fra en sum af oversvømmelser i flere punkter langs vandløbet, er det nødvendigt at analysere aflejringerne rummeligt, vha. statistiske metoder.

Denne metode kunne ikke anvendes på data fra oversvømmelseshændelserne fra Brede Å i vinteren 1994/95, da der var for få data til en egentlig modellering. Der blev derfor udført en multivariabel analyse på data, for at se om der kunne erkendes nogle sammenhænge, der kunne bruges i en tolkning af aflejringen.

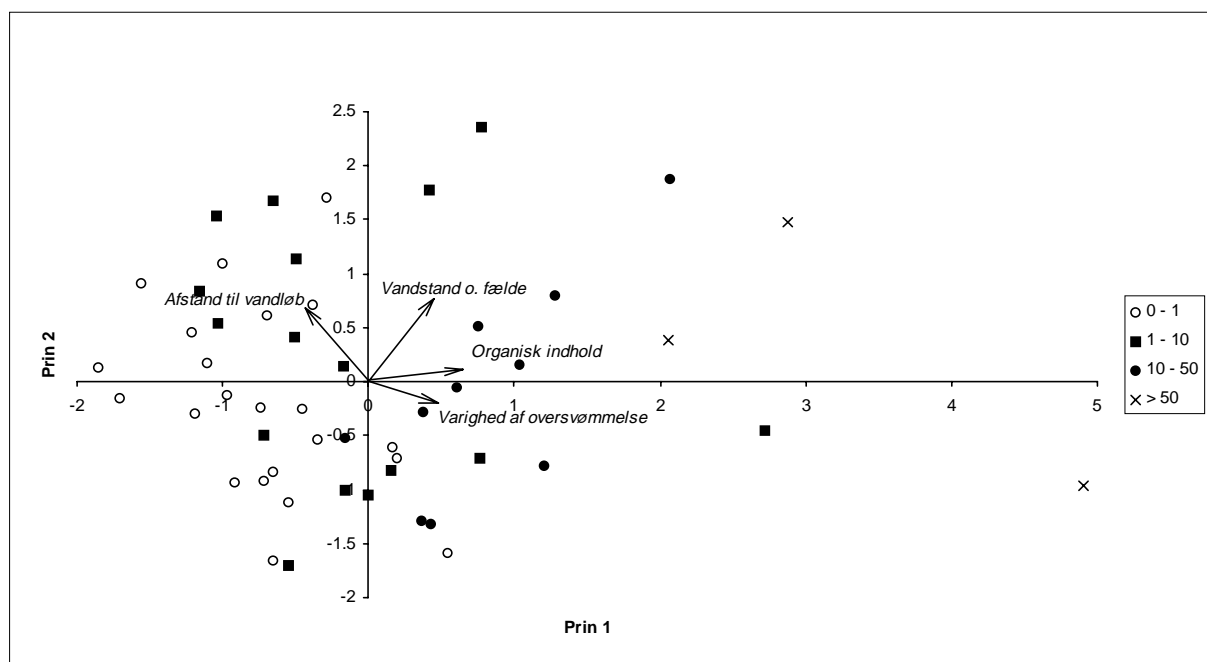
### 7.2 Multivariabel analyse af tilbageholdelsen

For at analysere om der i datamaterialet var nogle sammenhænge, der kunne bruges til tolkning af aflejringen, blev der gennemført multivariabel PCA analyse (Principal Components Analysis) af bruttotilbageholdelsen af fosfor. Ved denne analyse opdeles tilbageholdelsen i nogle passende grupper (efter størrelse af tilbageholdelsen), og herefter undersøges afhængigheden af forskellige parametre. Her er som eksempel vist analysen af tilbageholdelsen af fosfor for hele måleperioden (figur 28).

Vektorene i figuren identificerer de forskellige parametre. Længden af vektoren angiver parameterens betydning. Observationerne i den kvadrant hvor en given vektor peger, er afhængige af den pågældende parameter. Jo mere samlede observationer med samme symbol er, jo mere homogen er gruppen, og desto bedre afhængighed er der af de givne parametre.

Observationerne ligger relativt spredt i diagrammet, hvilket indikerer afhængigheden af de givne parametre ikke er særligt stærk (figur 28). Der er dog en ret klar tendens til, at de høje aflejringer ligger til højre i diagrammet og er styret af vanddybden

på engen, varighed af oversvømmelsen og indholdet af organisk materiale. De mindre aflejringer er primært styret af afstanden til vandløbet.



Figur 28. PCA analyse af bruttoaflejringen for fosfor, vinteren 1994/95.

Figure 28. PCA analysis of the gross retention of phosphorus in the winter of 1994/95.

De givne parametre kan forklare 60% af variationen i datasættet, hvilket dog ikke stærkt nok til at der kan opstilles en model med de angivne parametre. Analysen kan i dette tilfælde kun bruges til at påpege, at der er en sammenhæng i data. I bilag 4 er vist lignende analyser for hhv. brutto- og nettotilbageholdelsen af sediment og organisk stof.

### 7.3 Beregning vha. "box-metoden"

En simpel metode til beregning af den samlede tilbageholdelse på de vandløbsnære arealer er en såkaldt box metode. Metoden fordeler tilbageholdelsen i de enkelte fælde efter et såkaldt "mid-section" princip. Ved hjælp af mid-section metoden deles transektet op i repræsentative enheder på baggrund af afstanden mellem fælde. En fælde får tildelt en repræsentativ længde (vinkelret på ådalen) der er lig med halvdelen af afstanden til den ene nabofælde i transektet, plus halvdelen af afstanden til den anden nabofælde i transektet. Transektet antages at være repræsentativt for en 1 meters vandløbsbred. Fælde der er placeret længst væk fra vandløbet tildeles halvdelen af afstanden til foden af ådalsskrænten, plus halvdelen af afstanden til nabofælden. Princippet i metoden er vist i figur 29 og i formel (1).

$$L = \frac{A_1}{2} + \frac{A_2}{2} \quad [\text{m}] \quad (1)$$

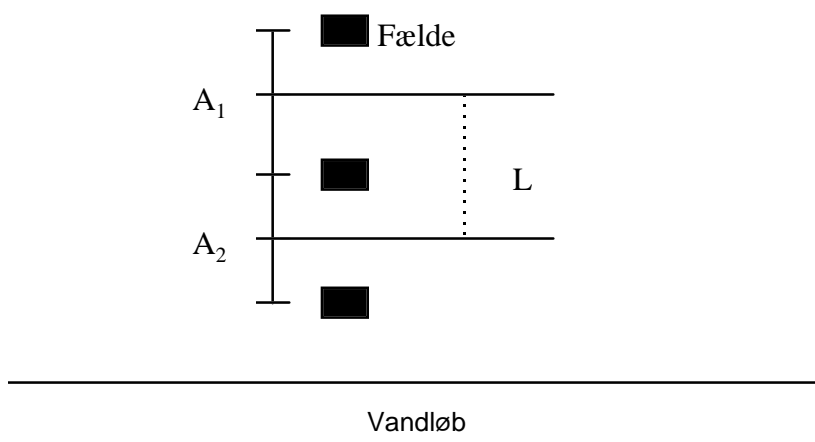
Hvor :  $L$  = fældens repræsentative længde;  $A_1$  = afstanden til nabofælde nr.1;  $A_2$  = afstanden til nabofælde nr. 2.

Tilbageholdelsen er beregnet som en stofmængde pr. arealenhed ( $\text{g}/\text{m}^2$ ), derfor kan tilbageholdelsen i en fælde ganges med den tilhørende længde. For at få gennemsnitstilbageholdelsen i transektet pr. meter vandløb, summeres tilbageholdelsen over hele transektet, og derefter deles med den samlede længde af transektet, formel (2).

Formlen for beregning af middeltilbageholdelsen,  $X$  i et transekt kan skrives som:

$$X = \frac{\sum_{i=1}^N (L_i \cdot Y_i)}{L_{Total}} \quad [\text{g} / \text{m}^2] \quad (2)$$

Hvor :  $L$  = den for fælden repræsentative længde (beregnet vha. formel (1));  $Y$  = tilbageholdelsen fælden;  $L_{Total}$  = den total længde af transektet.  $i$  angiver den specifikke fælde, og  $N$  det totale antal fælder.



**Figur. 29.** Princippet i mid-section metoden.

**Figure 29.** The mid-section method.

Når middeltilbageholdelsen for transektet er beregnet, kan der ganges med et for transektet repræsentativt areal, og den samlede tilbageholdelse for hele ådalen kan skrives som:

$$X_{Total} = X_1 \cdot A_1 + X_2 \cdot A_2 + X_3 \cdot A_3 + X_4 \cdot A_4 + X_5 \cdot A_5 \quad [\text{kg}] \quad (3)$$

Hvor:  $A_{1-4}$  = arealet som hvert transekt repræsenterer;  $X_{1-4}$  = middeltilbageholdelsen for et transekt;  $A_5$  = areal der ikke er oversvømmet;  $X_5$  = tilbageholdelsen på arealet der ikke er oversvømmet ( $X_5=0$ ).

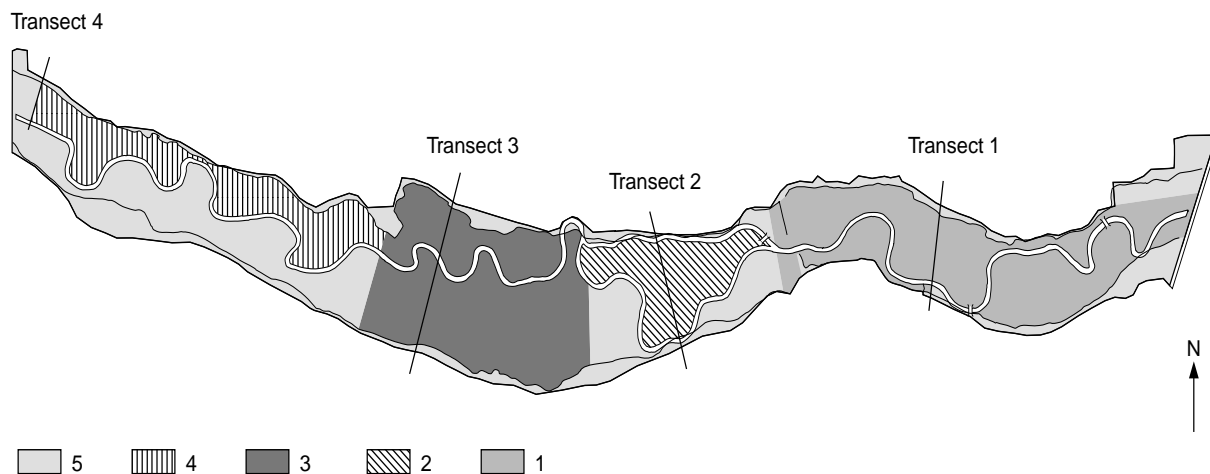
#### 7.4 Beregning af aflejringen i hele ådalen

På baggrund af middeltilbageholdelsen i hvert transekt kan den samlede aflejring på de 63,4 ha ådal beregnes. På baggrund af en analyse af morfologien i transekterne blev ådalen opdelt i 4 områder, svarende til hvert af de 4 transekter. En del af ådalen som aldrig blev oversvømmet, placeredes i en femte gruppe for sig selv. Opdelingen af ådalen er vist i tabel 5 og figur 30.

*Tabel 5. Arealfordeling mellem transekterne ved maksimal oversvømmelse.*

*Table 5. Distribution of areas between transects at maximum flooding.*

Transekt 1	13,2 ha
Transekt 2	12,4 ha
Transekt 3	14,6 ha
Transekt 4	6,8 ha
Ingen oversvømmelse	16,4 ha
Ialt	63,4 ha



*Figur 30. Opdeling af ådalen i områder efter transekternes morfologi.*

*Figure 30. Division of the river valley into areas of similar extent of flooding and morphology of the transects.*

Ved analyser af kort over området samt resultaterne fra MIKE 11-modelleringen blev det for hver transekt og for hver oversvømmelsesperiode vurderet, hvor stor en del af området, der var oversvømmet. Resultatet af denne analyse er vist i tabel 6. Det er dette areal, der bruges, når den samlede tilbageholdelse skal beregnes, da der kun bliver aflejret materiale på de oversvømmede områder.

**Tabel 6.** Areal (ha) der er oversvømmet i hver delperiode.

**Table 6.** Flooded area in each of the periods during the winter of 1994/95.

	1. periode	2. periode	3. periode	4. periode	5. periode
Transekt 1	6,6	9,9	9,9	13,2	11,9
Transekt 2	3,1	4,1	4,1	12,4	11,2
Transekt 3	-	2,2	8,8	14,6	13,1
Transekt 4	-	-	1,7	6,8	-

*Beregning af bruttotilbageholdelsen*

Langt de største mængder sediment aflejres i transekt 2 i vinteren 1994/95 totalt set, og er typisk 2-4 gange højere end transektet med den næsthøjeste tilbageholdelse. Aflejringen er størst i transekt 1 i periode 1, mens den største aflejring finder i stedet i transekt 3 i periode 3. Dette billede gælder også for organisk stof, fosfor og kvælstof. Analyserne af organisk stof, fosfor og kvælstof er foretaget på den fine del af sedimentet (< 0,25 mm), hvilket betyder at aflejringen af disse stoffer kun er beregnet for denne fraktion.

Perioderne 3, 4 og 5 tegner sig for langt de største bruttotilbageholdelser. I disse perioder er der også langt de største oversvømmelser, både i udbredelse og varighed.

**Tabel 7.** Bruttotilbageholdelse af sediment (< 2 mm) (g/m<sup>2</sup>). Oktober 1994 - maj 1995.

**Table 7.** Gross retention of sediment (g/m<sup>2</sup>) (< 2 mm). October 1994 - May 1995.

	1. periode	2. periode	3. periode	4. periode	5. periode	Total
Transekt 1	5	1144	4451	2055	195	7851
Transekt 2	95	13	37	23881	1791	25817
Transekt 3	0	34	5545	5394	290	11263
Transekt 4	0	0	138	1046	0	1185

**Tabel 8.** Bruttotilbageholdelse af organisk stof (g/m<sup>2</sup>). Oktober 1994 - maj 1995.

**Table 8.** Gross retention of organic matter (g/m<sup>2</sup>). October 1994 - May 1995.

	1. periode	2. periode	3. periode	4. periode	5. periode	Total
Transekt 1	1	51	89	119	19	279
Transekt 2	20	2	0	233	239	484
Transekt 3	0	5	641	429	38	1113
Transekt 4	0	0	25	85	0	110

**Tabel 9.** Bruttotilbageholdelse af fosfor (g/m<sup>2</sup>). Oktober 1994 - maj 1995.

**Table 9.** Gross retention of phosphorus (g/m<sup>2</sup>). October 1994 - May 1995.

	1. periode	2. periode	3. periode	4. periode	5. periode	Total
Transekt 1	0,02	1,31	2,98	2,39	0,45	7,15
Transekt 2	0,27	0,05	0,15	5,04	5,24	10,74
Transekt 3	0,00	0,12	18,38	10,05	0,79	29,34
Transekt 4	0,00	0,00	0,78	1,81	0,00	2,59

**Tabel 10.** Bruttotilbageholdelse af kvælstof ( $\text{g/m}^2$ ). Oktober 1994 - maj 1995.

**Table 10.** Gross retention of nitrogen ( $\text{g/m}^2$ ). October 1994 - May 1995.

	1. periode	2. periode	3. periode	4. periode	5. periode	Total
Transekt 1	0,05	1,92	5,16	5,31	1,23	13,67
Transekt 2	0,62	0,12	0,60	10,47	13,33	25,14
Transekt 3	0,00	0,19	37,67	19,46	2,10	59,41
Transekt 4	0,00	0,00	1,76	4,61	0,00	6,37

**Tabel 11.** Bruttotilbageholdelsen i hele ådalen fordelt på transekter.

**Table 11.** Gross retention in the river valley in the winter of 1994/95.

	Sediment (ton)		Organisk stof (ton)	Kvælstof (ton)	Fosfor (ton)
	(< 2 mm)	(< 0,25mm)			
Transekt 1	849	457	32	1,6	0,8
Transekt 2	3167	569	56	2,8	1,2
Transekt 3	1314	920	124	6,4	3,2
Transekt 4	74	58	6	0,3	0,1
Total	5403	2004	218	11,1	5,3

Mønstret for bruttotilbageholdelsen er det samme når den totale aflejrede sedimentmængde i hele ådalen er beregnet. Transekt 2 tegner sig for langt den største bruttotilbageholdelse af sediment. I transekt 3 aflejres de største mængder af fint sediment, organisk stof, fosfor og kvælstof. Mængderne er cirka det dobbelte af aflejringerne i de andre transekter. De store mængder transekt 3 er også betinget af at transektet repræsenterer den største del af ådalen arealmæssigt.

I tabel 11 kan det ses at det relative indhold af organisk stof, fosfor og kvælstof i aflejringerne er højere i transekt 3 og 4, end indholdet i transekt 1 og 2. Dette skyldes sandsynligvis at indholdet af fint sediment (<0,25 mm) også er større i aflejringerne i disse to transekter.

*Beregning af nettotilbageholdelsen*

**Tabel 12.** Nettotilbageholdelsen fordelt på transekter.

**Table 12.** Net retention in the four transects.

	Sediment ( $\text{g/m}^2$ )		Organisk stof ( $\text{g/m}^2$ )	Kvælstof ( $\text{g/m}^2$ )	Fosfor ( $\text{g/m}^2$ )
	(< 2 mm)	(< 0,25mm)			
Transekt 1	766	597	37	2,3	1,3
Transekt 2	21835	4570	896	12,0	5,2
Transekt 3	2399	1636	86	6,0	5,7
Transekt 4	124	104	14	0,7	0,4

I nedenstående tabel 12 er vist nettotilbageholdelsen af den totale sedimentmængde, organisk stof, kvælstof og fosfor. Nettotilbageholdelsen er målt over 5 perioder i vinteren 1994/95.

Nettotilbageholdelsen i transekterne varierer meget. Største nettotilbageholdelse findes i transekt 2, hvor der bliver aflejret ca. 9 gange mere sediment end i transekt 3, der har den næsthøjeste tilbageholdelse. Billedet er det samme for fint sediment, kvælstof, fosfor og organisk stof, dog er forskellen mindre markant.

**Tabel 13.** Nettotilbageholdelsen i hele ådalen.

**Table 13.** Net retention in the river valley.

	Sediment (ton)		Organisk stof (ton)	Kvælstof (ton)	Fosfor (ton)
	< 2 mm	<0,25mm			
Transekt 1	84	65	4	0,3	0,1
Transekt 2	2606	545	106	1,4	0,6
Transekt 3	276	188	10	0,7	0,4
Transekt 4	8	6	1	0,0	0,0
Total	2973	805	121	2,4	1,1

Nettotilbageholdelse i hele ådalen viser det samme billede som ovenfor. Der aflejres mest i transekt 2. I transekt 3 aflejres der næstmest, medens der aflejres mindst i transekt 4. Indholdet af organisk stof, fosfor og kvælstof er generelt højere i aflejringerne ved transekt 3 og 4 svarende til et højere indhold af fint sediment (< 0,25 mm).

#### *Sammenligning af brutto- og nettotilbageholdelsen*

Der tilbageholdes langt mindre fint sediment end det er tilfældet med det grove sediment. Dette skyldes sandsynligvis at de finere sediment lettere resuspenderes, og dermed er lettere at transportere væk fra græsmarkerne og ud i vandløbet igen.

**Tabel 14.** Sammenligning mellem brutto- og nettotilbageholdelsen af sediment, organisk stof, fosfor og kvælstof. Alle tal er i ton.

**Table 14.** Comparison of gross and net retention of sediment, organic matter, phosphorus and nitrogen. All figures in tonnes.

	Sediment < 2 mm	Sediment < 0.25 mm	Organisk stof	Kvælstof	Fosfor
Brutto- tilbageholdelse	5403	2004	218	11,1	5,3
Netto- tilbageholdelse	2973	805	121	2,4	1,1
Netto i % af brutto	55%	40%	55%	22%	21%



**Tabel 15.** Sammenligning mellem brutto- og nettotilbageholdelsen af sediment ved de 4 transekter.

**Table 15.** Comparison of gross and net retention of sediment (< 2 mm) in the four transects.

	Nettotilbageholdelse (ton)	Bruttotilbageholdelse (ton)	Netto i % af Brutto
Transekt 1	84	849	10
Transekt 2	2606	3167	82
Transekt 3	276	1314	21
Transekt 4	8	74	11
Total	2973	5403	55

Den største forskel mellem brutto- og nettotilbageholdelsen findes i transekt 1, hvor nettotilbageholdelsen kun udgør 10% af bruttotilbageholdelsen. Dette svarer til, at 90% af det materiale der potentielt kan aflejres, bliver fjernet igen ved resuspension. Mønstret ved transekt 1 ligner mønstret ved transekt 4.

Den største blivende aflejring finder sted i transekt 2, hvor 82% af det sediment, der aflejres forbliver i transektet, og ikke bliver ført væk igen ved resuspension. Det er også i transekt 2 at langt den største andel af sedimentet er større end 0,25 mm. Dette skyldes sandsynligvis at der er mulighed for en større vanddybde og lavere strømhastighed i dette transekt. Dette giver således mulighed for en større aflejring end andre steder.

Den største forskel mellem brutto- og nettotilbageholdelsen findes i transekt 4 hvor nettotilbageholdelsen kun udgør 10% af bruttotilbageholdelsen. Dette svarer til at 90% af det materiale der potentielt kan aflejres, bliver fjernet igen ved resuspension eller ved at der ophvirvles materiale fra græsmåtterne. Mønstret ved transekt 1 ligner mønstret ved transekt 4.

**Tabel 16.** Sammenligning mellem brutto- og nettotilbageholdelsen af fint sediment (<0.25 mm) ved de 4 transekter.

**Table 16.** Comparison of gross and net retention of fine sediment (<0.25 mm) in the four transects.

	Nettotilbageholdelse (ton)	Bruttotilbageholdelse (ton)	Netto i % af Brutto
Transekt 1	65	457	14
Transekt 2	545	569	96
Transekt 3	188	920	20
Transekt 4	6	58	10
Total	806	2004	40

I transekt 2 er der næsten intet materiale, der forlader de oversvømmede arealer når det først er aflejret der. 96% af sedimentmængden aflejres på arealerne og bliver ikke bragt så meget i resuspension, at det forlader transektet. Dette indikerer at transektet virker som et aflejrbassin.

### Sammenligning af tilbageholdelsen og transporten i vandløbet

Den samlede bruttotilbageholdelse af fint sediment på de vandløbsnære arealer overstiger den suspenderede sedimenttransport i vandløbet. Dette skyldes sandsynligvis, at der eroderes materiale på den restaurerede strækning, som dermed bliver til rådighed for aflejring på de vandløbsnære arealer.

**Tabel 17.** Aflejringen af sediment og sedimenttransporten i vandløbet i vinteren 1994/95.

**Table 17.** Deposition of sediment compared with the transport in the River Brede during the winter period 1994/95.

	Bruttotilbageholdelse (ton)		Sedimenttransport i vandløbet (ton)		Bruttotilbageholdelse i % af transport i vandløb	
	< 0,25 mm	< 2 mm	Susp	Total	< 0,25 mm	< 2 mm
1. periode	2	3	320	640	1	0
2. periode	76	115	170	340	45	34
3. periode	578	933	400	800	145	117
4. periode	1169	4091	450	900	260	455
5. periode	179	262	380	760	47	34
Total	2004	5403	1720	3440	117	157

I de første to perioder, hvor oversvømmelserne er ret beskedne, bliver der tilbageholdt mindre end 100% af den suspenderede stof transport i vandløbet, hvorimod der i de to perioder med kraftige oversvømmelser bliver aflejret hhv. 145% og 260% af den suspenderede transport i vandløbet. Det er altså under de to største oversvømmelser, at der bliver eroderet materiale på den restaurerede strækning. Meget af dette materiale bliver igen aflejret på strækningen eller på de vandløbsnære arealer, da kun en del bliver transporteret ud af området. Der er altså primært i periode 3 og 4 der forekommer erosion i vandløbet på den restaurerede strækning.

Betragtes den totale aflejring af sediment (< 2 mm) på de vandløbsnære arealer og sammenlignes dette med den totale sedimenttransport i vandløbet tilbageholdes der hhv. 117% og 455% af den samlede sedimenttransport i periode 3 og 4. Som skrevet ovenfor, er den samlede transport fundet ved at antage at bundtransporten udgør 50% af den samlede transport, og lægge dette til den målte suspenderede transport. Når den suspenderede transport samtidig underestimeres pga. at der er udført punktprøvetagning istedet for kontinuert prøvetagning, så er det sandsynligt at den samlede transport har været endnu højere end det der er vist i tabellen ovenfor. Det er derfor sandsynligt at vi sammenligner de målte aflejringer med et alt for lille tal. Den gennemsnitlige bruttotilbageholdelse af sediment er på 157%, hvilket er særdels højt. Det er tydeligt, at når den totale tilbageholdelse på de vandløbsnære arealer opgøres, så udgøres en stor del af aflejringerne af sediment der er over 0,25mm, hvilket indikerer at det er sediment der normalt ville befinde sig bundtransport i vandløbet. Når dette materiale ender på de vandløbsnære arealer, og endog langt inde på disse, må det være et resultat af en ekstrem situation.

**Tabel 18.** Fosforaflejringen og partikulært bundet fosfortransport i vandløbet.

**Table 18.** Deposition of phosphorus and transport of particulate phosphorus in the River Brede.

	Bruttotilbageholdelse (ton)	Transport af fosfor i vandløbet (ton)	Brutto i % af transport i vandløb
1. periode	0,0	1,8	1
2. periode	0,1	2,7	4
3. periode	1,9	2,9	66
4. periode	2,5	3,4	74
5. periode	1,9	4,4	43
Total	6,4	15,2	42

Bruttotilbageholdelsen af fosfor udgør hhv. 66% og 74% af den partikulære fosfortransport i vandløbet i periode 3 og 4. I de andre periode tilbageholdes der en mindre del af transporten i vandløbet. De største aflejringer finder sted i periode 3 og 4.

**Tabel 19.** Sammenligning af nettotilbageholdelsen og transport i vandløbet i vinteren 1994/95.

**Table 19.** Comparison of net retention and transport in the River Brede during the winter of 1994/95.

	Sediment		Fosfor	Kvælstof
	< 0,25 mm	< 2 mm		
Nettotilbageholdelse	806	2973	1,1	2,4
Transport i vandløb	1720	3440	15,2	535
Nettotilbageholdelse i % af transport i vandløbet	47%	86%	7%	0,4%

Et mere reelt udtryk for sedimentationsforholdene på de vandløbsnære arealer kan findes ved at sammenligne stoftransporten i vandløbet med nettotilbageholdelsen på de vandløbsnære arealer. Her udgør tilbageholdelsen af fint sediment (<0,25 mm) 47% af den samlede suspenderede transport i vandløbet, mens nettotilbageholdelsen af sediment udgør 86% af den total sedimenttransport i vandløbet. Nettotilbageholdelsen af fosfor udgør 7% af den partikulære transport af fosfor i vandløbet. Tilbageholdelsen af fosfor er lavere end tilbageholdelsen af sediment, hvilket skyldes at, af det aflejrede materiale har et lavt indhold af fosfor. Dette tyde på, at det kunne materiale der er eroderet på strækningen. Der tilbageholdes næsten intet kvælstof (0,4%). Dette skyldes at en stor del af det transporterede kvælstof findes på opløst form som nitrat-nitrit i vandløbsvandet.

## 8 Diskussion og konklusion

### Feltmålinger

Bruttotilbageholdelsen er målt ved hjælp af rørfælder, hvori materialet aflejres. Dette bevirker, at der ved høje vandhastigheder over fælden sandsynligvis kan måles en for lille bruttotilbageholdelse i forhold til en naturlig overflade. Høje strømhastigheder findes typisk tæt ved vandløbet, og det kan derfor forventes, at fælder placeret tæt ved brinken kan måle en for lille bruttotilbageholdelse i forhold til fælder placeret længere inde på de oversvømmede arealer. Dette vil primært gælde finkornet materiale, der lettere bringes i suspension end grovkornet materiale.

Størrelsen af nettotilbageholdelsen afhænger også af strømhastigheden i det vand, der passerer hen over græsmåtterne. Der vil typisk blive målt en lille nettotilbageholdelse ved høje strømningshastigheder, fordi det sediment, der tidligere er aflejret på græsømmen, vil kunne resuspenderes og omlejres. Tæt ved vandløbet vil der typisk være en større andel af groft sediment på fælderne. Dette bevirker, at sedimentet ikke så let bliver resuspenderet trods højere strømhastigheder.

Når der står vand tilbage på de vandløbsnære arealer, vil der kunne fjernes sediment fra græsmåtterne under kraftig vindpåvirkning, og man vil dermed få en æolisk (vind) betinget resuspension af det aflejrede materiale. I tilfælde af kraftig nedbør vil der kunne aflejres materiale på græsmåttene, som stammer fra overfladeerosion i baglandet. Dette vil typisk kræve en relativ stor hældning af jordoverfladen og intensiv nedbør. I denne undersøgelse har aflejringer af denne type udgjort en meget lille del af den samlede aflejring på det vandløbsnære areal. Falder der nedbør på en tør-lagt græsmåtte med meget aflejret sediment kan noget af sedimentet fjernes. Dette kan være forekommet i vinteren 1994/95.

### Modeller

Der anvendes to modeller til beregning af tilbageholdelsen på de oversvømmede arealer. Den avancerede model som beskriver tilbageholdelsen som en eksponentialfunktion af afstanden fra vandløbet, kan ikke modellere tilbageholdelsen tilfredstillende. En PCA analyse, der inkluderer parametre som: varigheden af oversvømmelsen, stofkoncentrationen i det indkomne vand mv. viser, at tilbageholdelsen er afhængig af de anvendte parametre, men at sammenhængen ikke er statistisk signifikant. Disse kan derfor ikke anvendes til en egentlig multipel regression til modellering af aflejringen.

Tilbageholdelsen er derfor modelleret med en simpel box-metode, hvor hver fælde får tildelt et repræsentativt areal i transektet. På baggrund af alle fælders bidrag er middeltilbageholdelsen i transektet beregnet. Efterfølgende er den totale aflejring i hele ådalen beregnet ved at gange middeltilbageholdelsen med det oversvømmede areal. Da bestemmelse af det oversvømmede areal er foretaget ud fra opmåling af ådalen, og MIKE 11-modelleringen af vandstanden i vandløbet, er beregningerne behæftet med nogen usikkerhed. En bedre bestemmelse af det oversvømmede areal vil kunne fås ved benyttelse af flyfotos af ådalen på forskellige tidspunkter i løbet af vinterperioden.

## Resultater

Sammenlignes bruttotilbageholdelsen af fint sediment med transporten i vandløbet erkendes det at tilbageholdelsen udgør over 100% af den suspenderede transport. Dette skyldes, at der eroderes materiale på den nyligt restaurerede strækning i forbindelse med store afstrømninger. Endvidere skete der en hydraulisk tilpasning af det nyanlagte vandløbsleje. I periode 3 og 4, hvor de største oversvømmelser forekom måltet tilbageholdelser på de vandløbsnære arealer, der er over 100% af transporten i perioden, hvilket må tilskrives den store erosive kraftpåvirkning af vandløbets bund og sider. Der blev efter disse oversvømmelser observeret store aflejringer af materiale i ådalen samt i vandløbet, hvor vandhastigheden generelt var lav. Da en del af det aflejrede materiale er ret groft, stammer det sandsynligvis fra bundtransporteret materiale. Sammenlignes bruttotilbageholdelsen af sediment (< 2mm) med den totale transport i vandløbet (estimeret bundtransport + suspenderet transport) udgør tilbageholdelsen 157% af stoftransporten i vandløbet. Den suspenderede transport i vandløbet er sandsynligvis underestimeret pga. punktprøvetagning istedet for kontinuert prøvetagning. Dette gør at den totale transport også bliver underestimeret. Det kan være en forklaring på de store procentvise tilbageholdelser, der er set i denne undersøgelse.

Nettotilbageholdelsen af fint sediment, fosfor og kvælstof på de oversvømmede arealer udgør hhv. 47%, 7% og 0,4% af hhv. den suspenderede sediment transport og de partikulære transporter af de respektive stoffer. Nettotilbageholdelsen af sediment (< 2 mm) udgør 86% af den samlede transport i vandløbet. Den lave nettotilbageholdelse af kvælstof skyldes at en meget stor del af kvælstoffet findes på nitrit-nitrat form i vandløbsvandet, og dermed ikke binder sig til partikler, som eksempelvis fosfor gør. Nettotilbageholdelsen et godt mål for hvad der faktisk aflejres under naturlige forhold på engene ved oversvømmelser. Nettotilbageholdelsen vil derfor være mindre end bruttotilbageholdelsen, hvilket også er målt i alle transekter. Transekt 2 har en særdeles stor tilbageholdelse af sediment (netto) hvilket indikerer at transektet virker som tilbageholdelsesbassin. Den høje tilbageholdelse i transekt 2 kan tilskrives at der strømmer vandløbsvand ind både fra det nordlige og det sydlige vandløbsleje, så der tilføres store mængder. Endvidere har der været perioder med stor vanddybde på "øen", hvor vandet strømmede langsomt, hvilket har øget aflejringen og mindsket resuspensionen af det aflejrede materiale.

Der tilbageholdes 7% af den samlede suspenderede forfortransport i vandløbet, hvilket er lidt højere end i Gjærn Å-systemet (*Falkum et al., 1997*). Nettotilbageholdelsen af fint sediment er på  $1,2 \text{ kg/m}^2$ , hvilket er i samme størrelsesorden som fundet i andre undersøgelser (*Asselman og Middelkoop, 1996*).

Det kan altså konkluderes, at de fundne nettotilbageholdelser af fosfor og sediment er af samme størrelsesorden som i lignende undersøgelser. Det må forventes, at disse nettotilbageholdelser ligger i den høje ende eftersom vandføringen var meget høj i vinteren 1994/95 og en stor del af den tilpasning, det nye leje skulle foretaget forekom denne første vinter efter restaureringen. Der er dog ingen tvivl om at tillader vi vores vandløb at oversvømme vandløbsnære arealer flere steder, så vil det positivt medvirke til at reducere f.eks. transporten af suspenderet materiale og dertil knyttet fosfor til søer og til marine kystafsnit.

Undersøgelsen af tilbageholdelsen på de vandløbsnære arealer bør gentages nu hvor vandløbet har haft en række år til at tilpasse sig de nye hydrauliske forhold. Målingerne bør gentages i flere år for, at øge muligheden for at få forskellige oversvømmelsesfrekvenser af de vandløbsnære arealer.

Variationerne i tilbageholdelsen mellem transekterne er relativt store. Hvis der skal beregnes tilbageholdelse efter en multipel regressionsmodel eller en fysisk baseret model, så skal der måles med større rummelig opløsning. En fremtidig mulighed er at anvende rumlig modellering ved hjælp af kriging. Den simple box-metode er på trods af sin enkle opbygning særdeles velegnet til beregning af den total tilbageholdelse på oversvømmede arealer, hvis den ledsages af nogle detaljerede opgørelser af omfanget af oversvømmelserne. Omvendt viser undersøgelsen at massebalanceberegninger over en vandløbsstrækningen er helt uegnet til at vurdere hvor meget materiale, der aflejres på oversvømmede vandløbsnære arealer. Dels trækkes to store tal fra hinanden, dels betyder kan lokale kilder have stor indflydelse på hvor meget der deponeres. Der bør ved fremtidige målinger være opstillet mere end 4 transekter, således at der opnås en bedre rummelig beskrivelse af depositionen. Desuden bør målingerne i et vist omfang suppleres med målrettede flyfoto observationer til kortlægning af udbredelsen af oversvømmelserne og som hjælp til tolkning af afljæringsmønstrene.



## 9 Referencer

ASSELMAN, N.E.M & MIDDELKOOP, H. (1995): Floodplain sedimentation: Quantities patterns and processes. *Earth Surface Processes and Landforms*, **20**, 481-499.

BREMMER, J.M. & MULVANEY, S. (1985): Nitrogen - total. In Page, A.L., Miller, R.H. & Veeney, D.R. (eds.) : *Methods of soil analysis. Part 2: no. 9 Series in Agronomy 2*, Soil Sci. Am., Madison, Wisconsin, 595-622.

FALKUM, Ø. (1996): En undersøgelse af fosforretentionen på et engareal under en oversvømmelse af Gjern å ved Smingevad Bro, foretaget med sedimentfælder. Speciale Geologisk Institut, Århus Universitet. Maj 1996

FALKUM, Ø.; KRONVANG, B. & SVENDSEN, L.M. (1997): Stoff tilbageholdelse på oversvømmede enge. *Vand og Jord* nr. 3.

FRIBERG, N., KRONVANG, B., HANSEN, H.O & SVENDSEN, L.M. (1998): Long-term, habitat-specific response of a macroinvertebrate community to river restoration. *Aquatic Conservation : Marine and Freshwater Ecosystems* **8 (1)**, 87-99.

GRØN, P.N. (1999): Vegetationen i Brede Å samt på brinker og enge 1994-1996 - Restaurering af Brede Å. Vandløbsøkologi. Danmarks Miljøundersøgelser. 139 s. - Arbejdsrapport fra DMU.

HANSEN, H.O. (1999): Effekter på invertebratfaunaen - Restaurering af Brede Å. Vandløbsøkologi. Danmarks Miljøundersøgelser. 29 s. - Arbejdsrapport fra DMU nr. 102.

HOLMES, N.T.H. AND NIELSEN, M.B. (1998): Restoration of the rivers Brede, Cole and Skerne: A joint Danish and British EU-LIFE demonstration Project, I - Setting up and delivery of the project. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, **8 (1)**, 185-196.

KRONVANG, B., GRÆSBØLL, P., SVENDSEN, L.M., FRIBERG, N., HALD, A.B., KJELLSSON, G., NIELSEN, M.B., PETERSEN, B.D. & OTTOSEN, O. (1994): Restaurering af Gelså ved Bevtøft: Miljømæssig effekt i vandløb og de vandløbsnære arealer. Danmarks Miljøundersøgelser. 88s -*Faglig rapport fra DMU*, nr. 110.

KRONVANG, B.K., SVENDSEN, L.M., BROOKES, A., FISHER, K., MØLLER, B., OTTESEN, O., NEWSON, M. AND SEAR, D. (1998): Restoration of the rivers Brede, Cole and Skerne: A joint Danish and British EU-LIFE demonstration Project, III - Channel morphology, hydrodynamics and transport of sediment. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, **8 (1)**, 209-222.

MURPHY, J. & RILEY, J.P. (1962): A modified single solution for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chem. Acta* **27**, 31-36.



PEDERSEN, M.L., HOFFMANN, C.C. & KRONVANG, B. (1998): Vand- og næringsstofbalancer i de vandløbsnære arealer - Restaurering af Brede Å. Vandløbsøkologi. Danmarks Miljøundersøgelser. 35 s. - *Arbejdsrapport fra DMU nr. 97*.

PHILLIPS, J.D. (1989): Fluvial Sediment storage in wetlands. *Wat. Res. Bul.*, **25**, no. **4**, 867-873.

SVENDSEN, L.M. (1992): *Dynamics of phosphorus, organic nitrogen and organic matter in watercourses - methods, retention transport and models*. Ph.D. Thesis. National Environmental Research Institute, Silkeborg, Denmark, 260 sider.

SVENDSEN, L.M. & REBSDORF, AA. (1992): Kvalitetssikring af overvågningsdata. Retningslinier for kvalitetssikring af ferkvandskemiske data i Vandmiljøplanens Overvågningsprogram. Danmarks Miljøundersøgelser. 88s. - *Teknisk anvisning fra DMU nr. 7*.

SVENDSEN, L.M. & KRONVANG, B. (1993): Retention of nitrogen and phosphorous in a Danish lowland river system - Implications for the export from the watershed. *Hydrobiologia* **251**, 123-125.

SVENDSEN, L.M., REBSDORF, AA & NØRNBERG, P. (1993): Comparison of methods of analysis of organic and inorganic phosphorous in river sediment. *Water. Res.* **27**, 77-83.

SVENDSEN, L.M.; ANDERSEN, H.E. & LARSEN, S.E. (1997): Transport af suspenderet stof og fosfor i den nedre del af Skjern Å-systemet. Danmarks Miljøundersøgelser. 90s - *Faglig Rapport fra DMU nr. 185*.

SVENDSEN; L.M. & HANSEN, H.O. (1997): *Skjern Å - Sammenfatning af den eksisterende viden om de fysiske, kemiske og biologiske forhold i den nedre del af Skjern Å-systemet*. Danmarks Miljøundersøgelser & Skov- og Naturstyrelsen. 198 s.

WALLING, D.E. & HE, Q. (1997): Investigating spatial patterns of overbank sedimentation on river floodplains. *Water, Air and Soil Pollution*, vol. **99**, 21-31.

## Bilag 1. Koter på rørfælder og græsmåtter

### Transekt 1

Rørfælde	Kote m DNN
B1	7.314
B2	7.095
B3	7.148
B4	7.452
B5	7.388
B6	7.389
B7	7.454
B8	7.356
B9	7.495
B10	7.235
B11	7.298
B12	7.310

Græsmåtte	Kote m DNN
M1.1	7.137
M1.2	7.426
M1.3	7.393
M1.4	7.374
M1.5	7.345

### Transekt 2

Rørfælde	Kote m DNN
B13	6.981
B14	7.333
B15	7.171
B16	6.920
B17	6.892
B18	6.899
B19	6.755
B20	7.119
B21	6.816
B22	6.807
B23	7.031

Græsmåtte	Kote m DNN
M2.1	6.993
M2.2	7.046
M2.3	6.726
M2.4	6.777
M2.5	7.045

### Transekt 3

Rørfælde	Kote m DNN
B31	6.519
B32	6.410
B33	6.330
B34	6.126
B35	6.199
B36	6.334
B37	6.567
B38	6.434
B39	6.349
B40	6.647
B41	6.837
B42	6.596
B43	6.444
B44	6.600

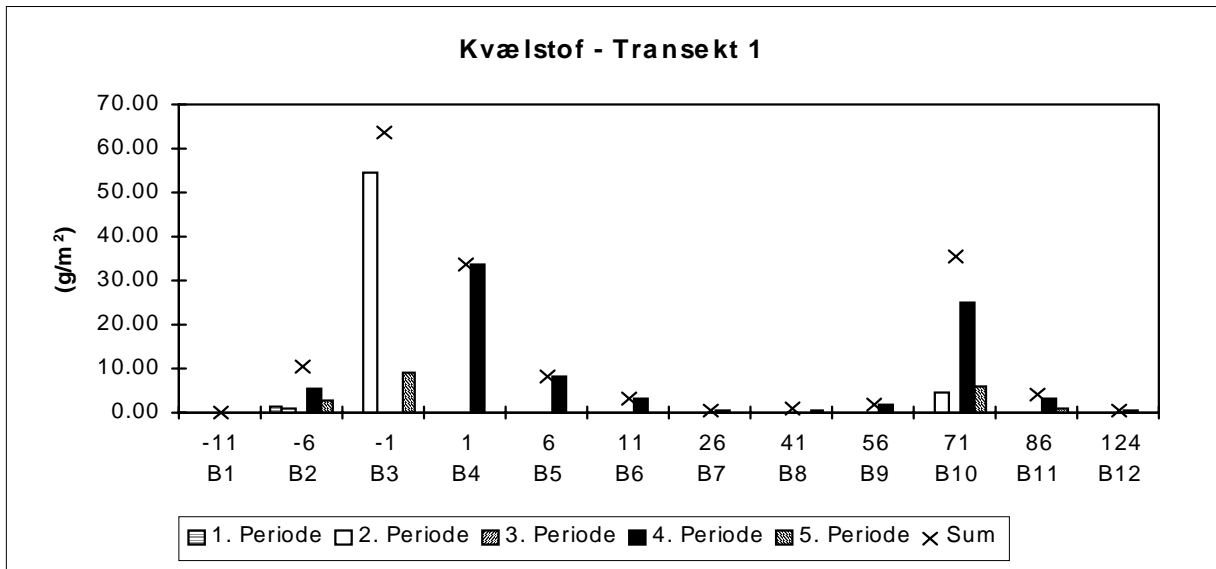
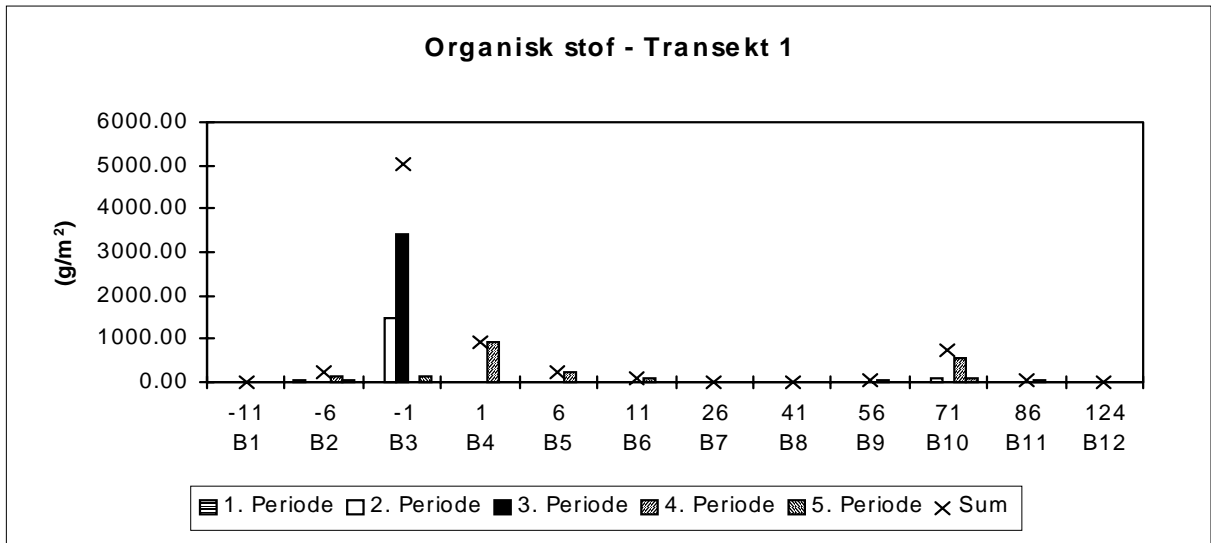
Græsmåtte	Kote m DNN
M3.1	6.352
M3.2	6.167
M3.3	6.244
M3.4	6.330
M3.5	6.618
M3.6	6.527

### Transekt 4

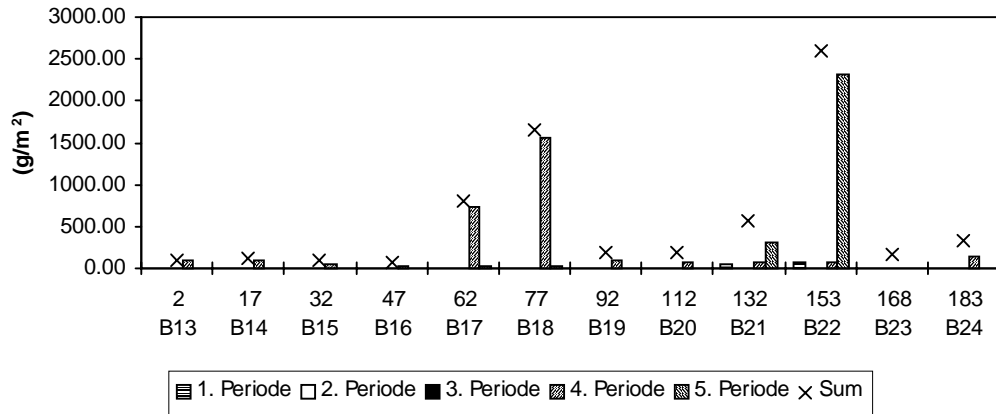
Rørfælde	Kote m DNN
B51	5.851
B52	6.022
B53	5.994
B54	6.062
B55	6.087
B56	5.938

Græsmåtte	Kote m DNN
M4.1	5.953
M4.2	6.005
M4.3	5.857

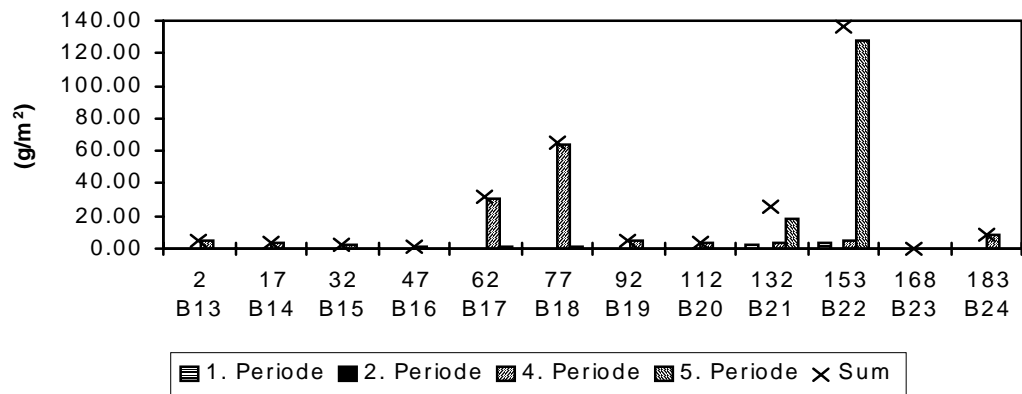
## Bilag 2. Bruttotilbageholdelse af kvælstof og organisk materiale



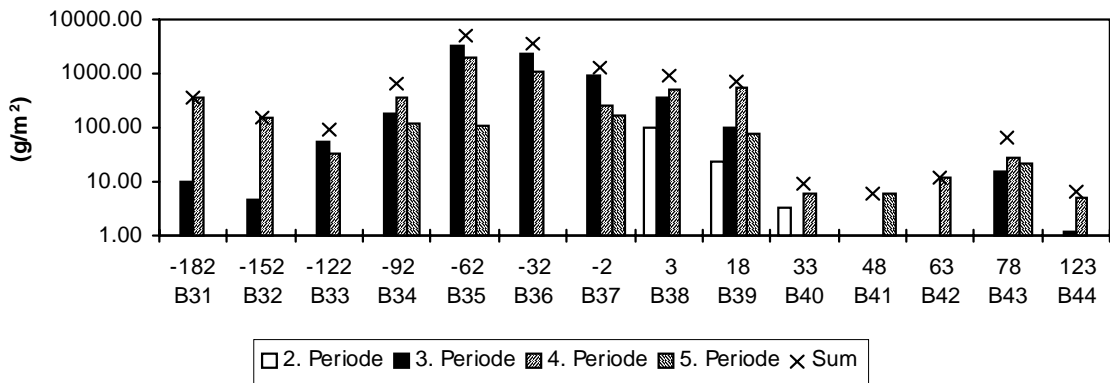
### Organisk stof - Transekt 2



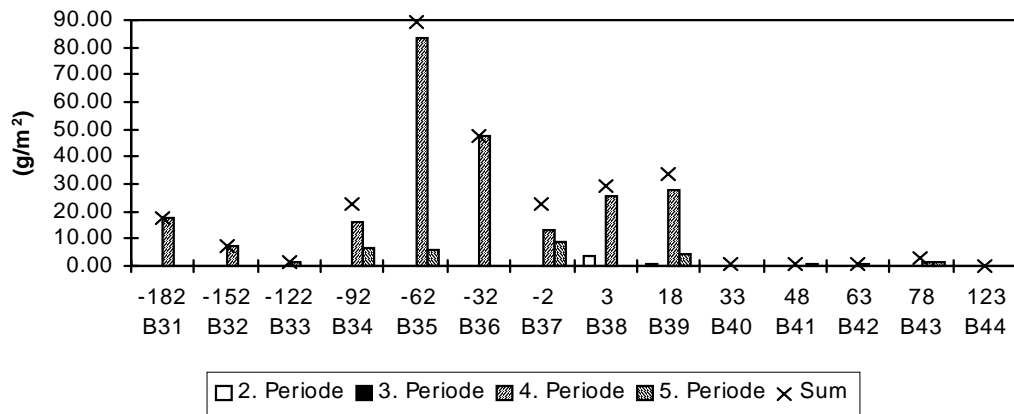
### Kvælstof - Transekt 2



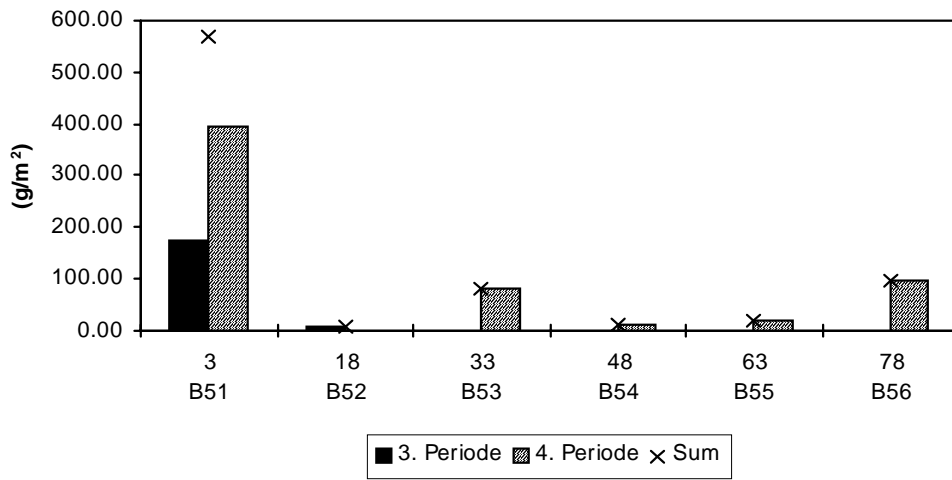
### Organisk stof - Transekt 3



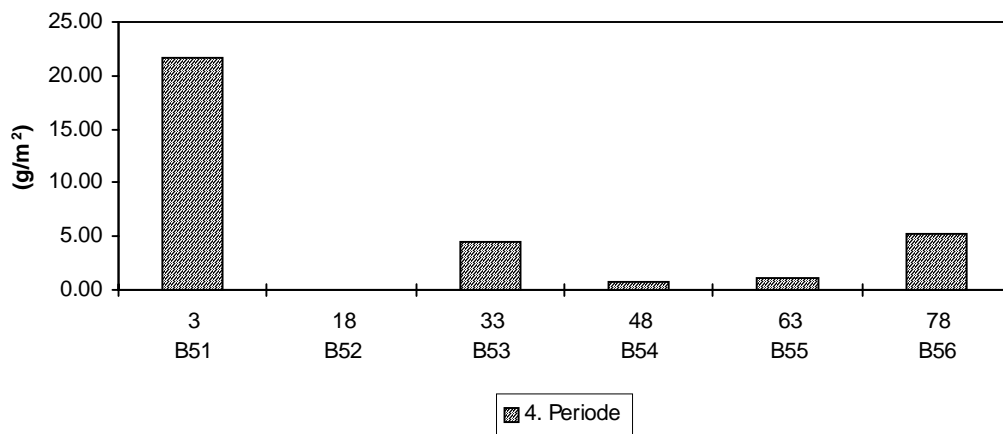
### Kvælstof - Transekt 3



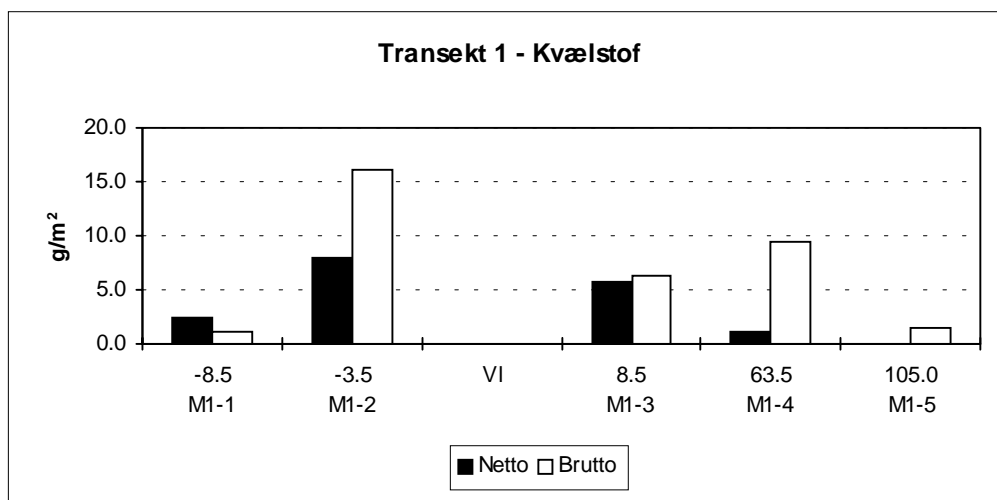
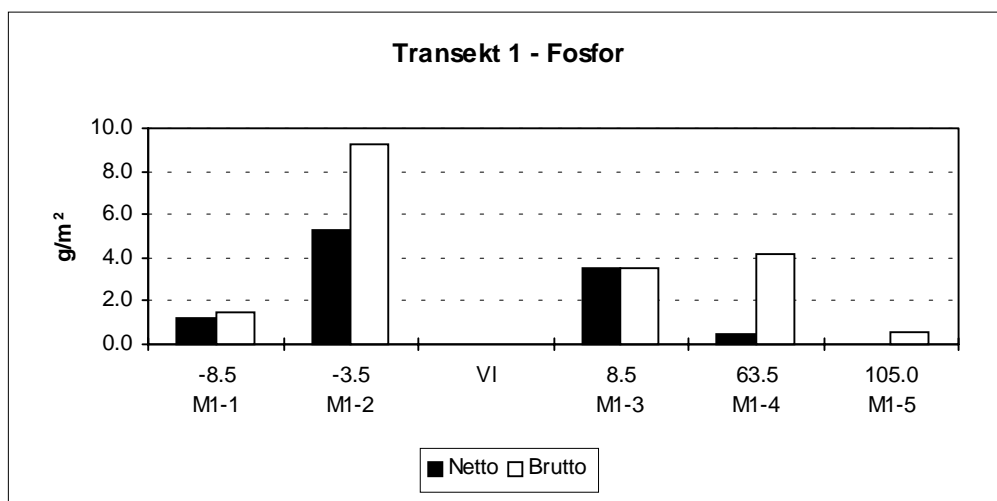
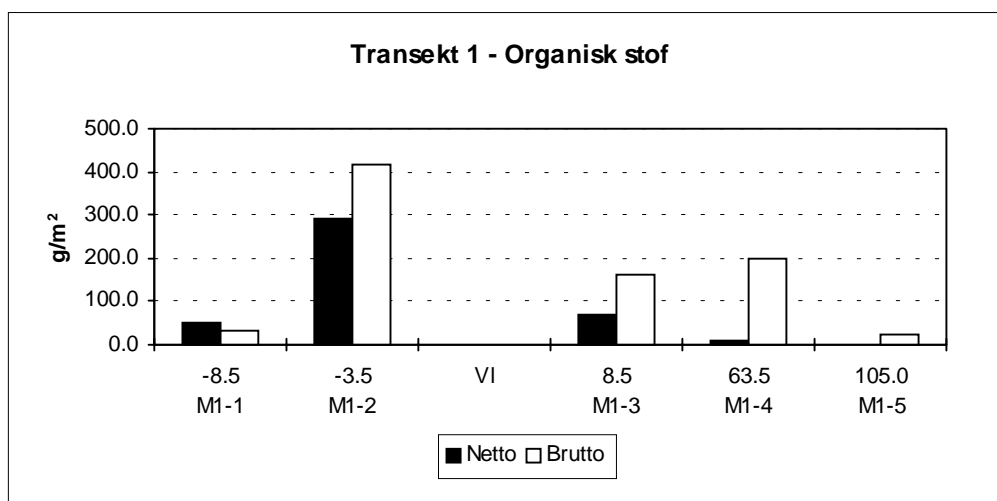
### Organisk stof - Transekt 4



### Kvælstof - Transekt 4

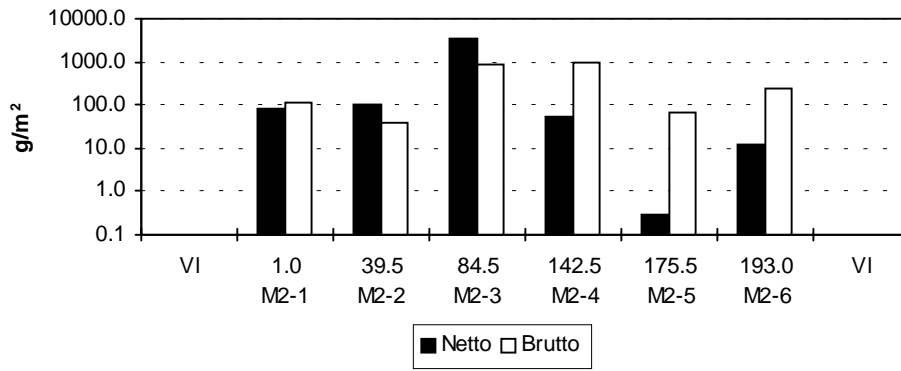


### Bilag 3. Sammenligning af brutto- og nettotilbageholdelsen af N, P og organisk materiale

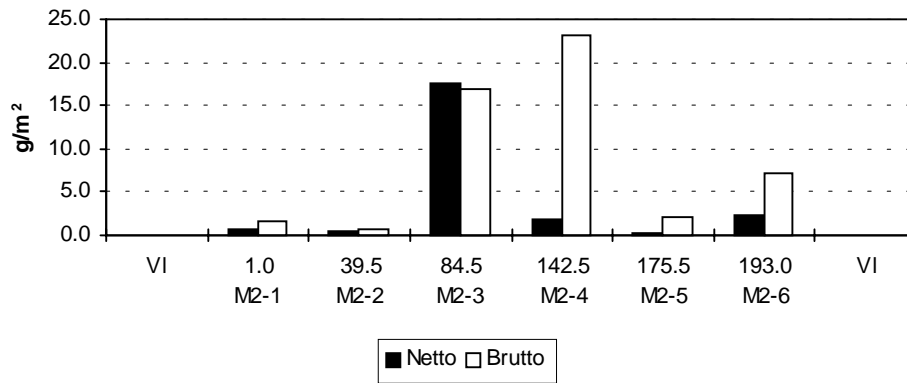




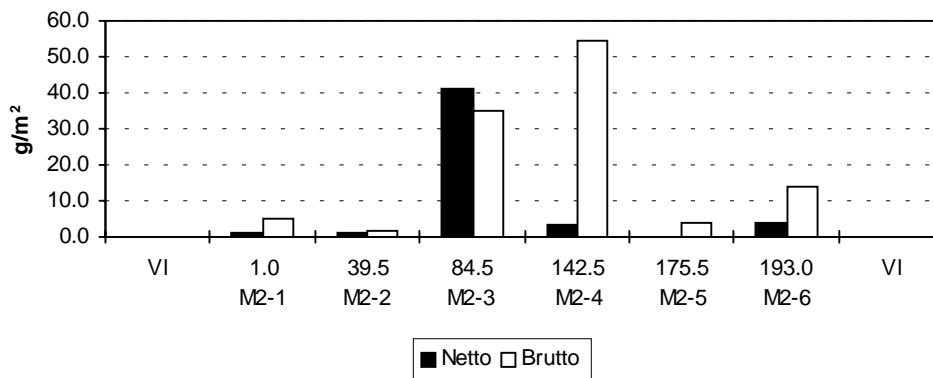
Transekt 2 - Organisk stof



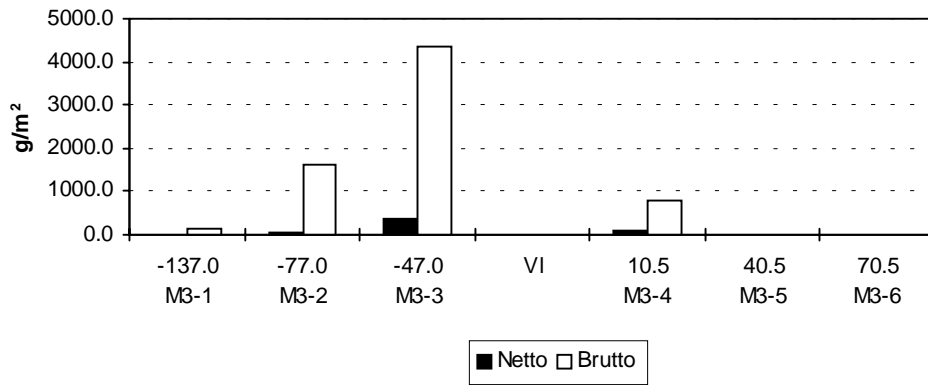
Transekt 2 - Fosfor



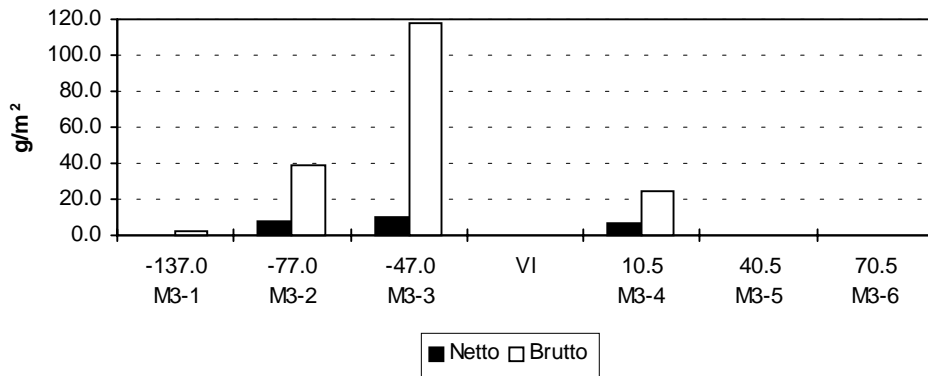
Transekt 2 - Kvælstof



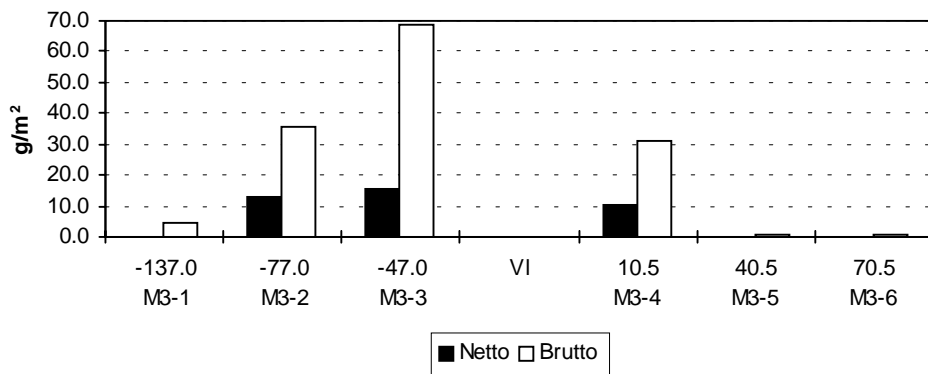
Transekt 3 - Organisk stof



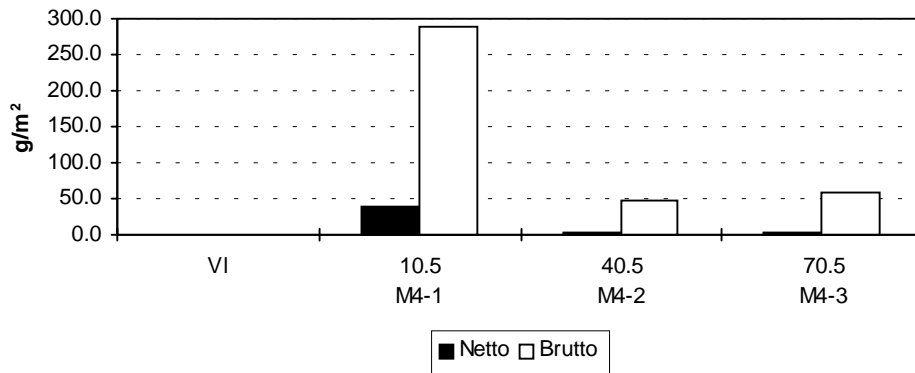
Transekt 3 - Fosfor



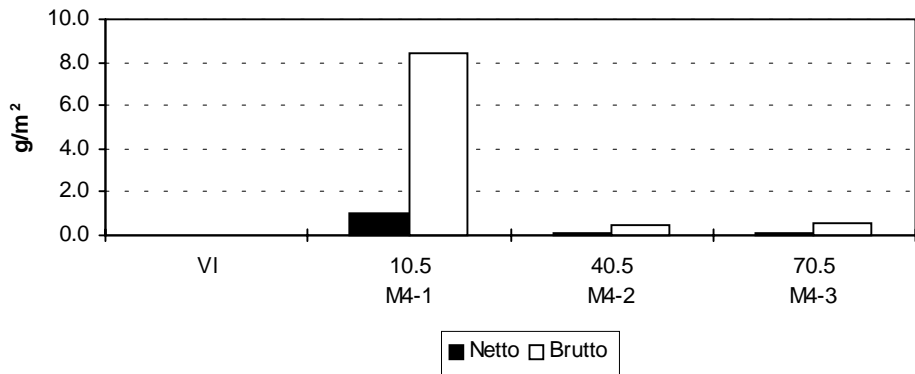
Transekt 3 - Kvælstof



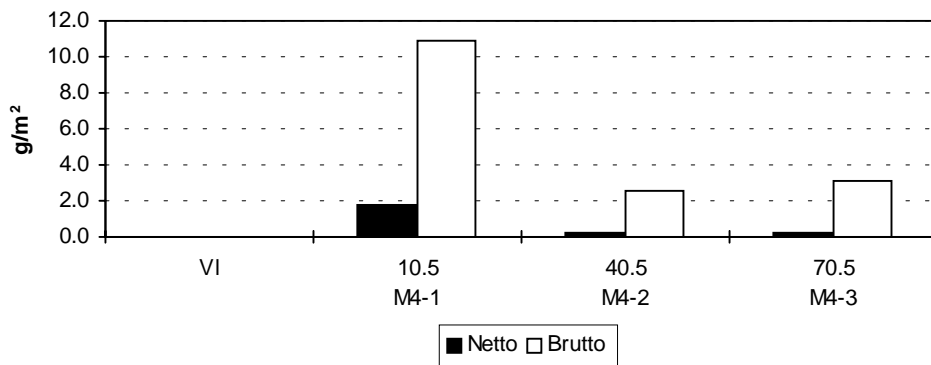
Transekt 4 - Organisk stof



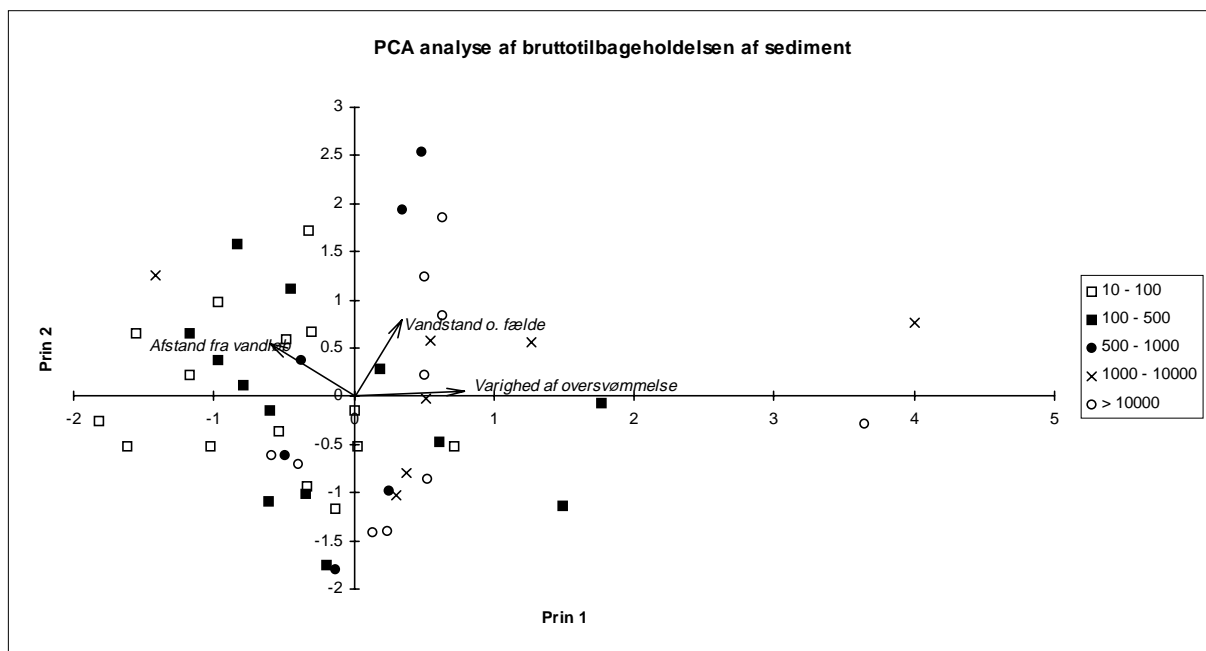
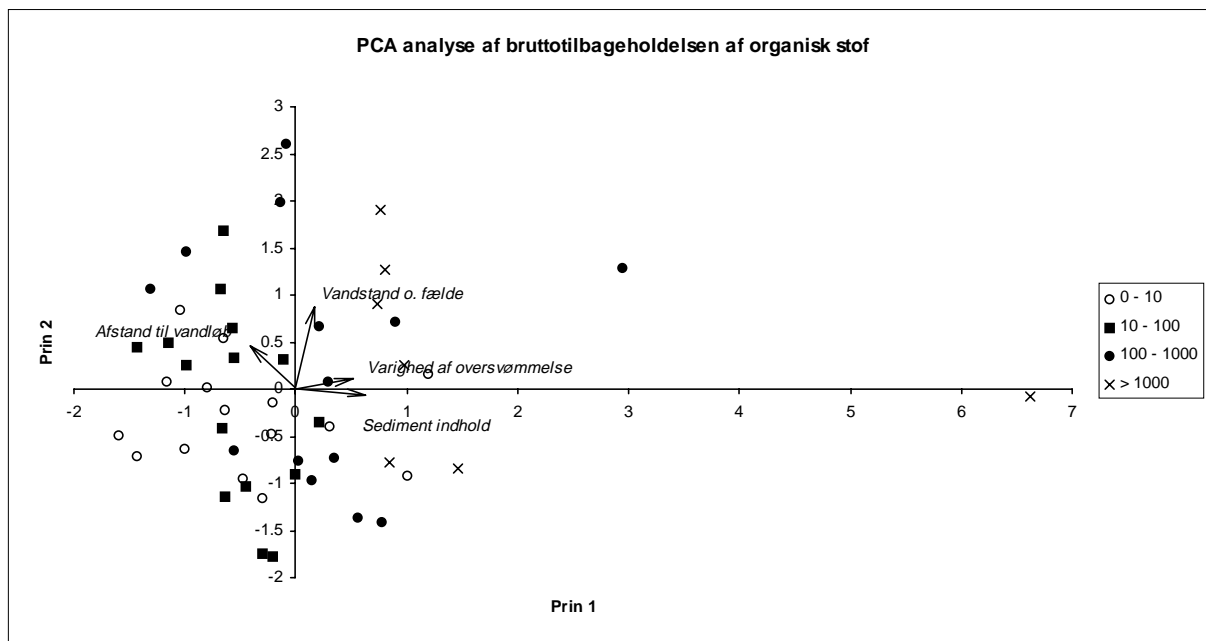
Transekt 4 - Fosfor



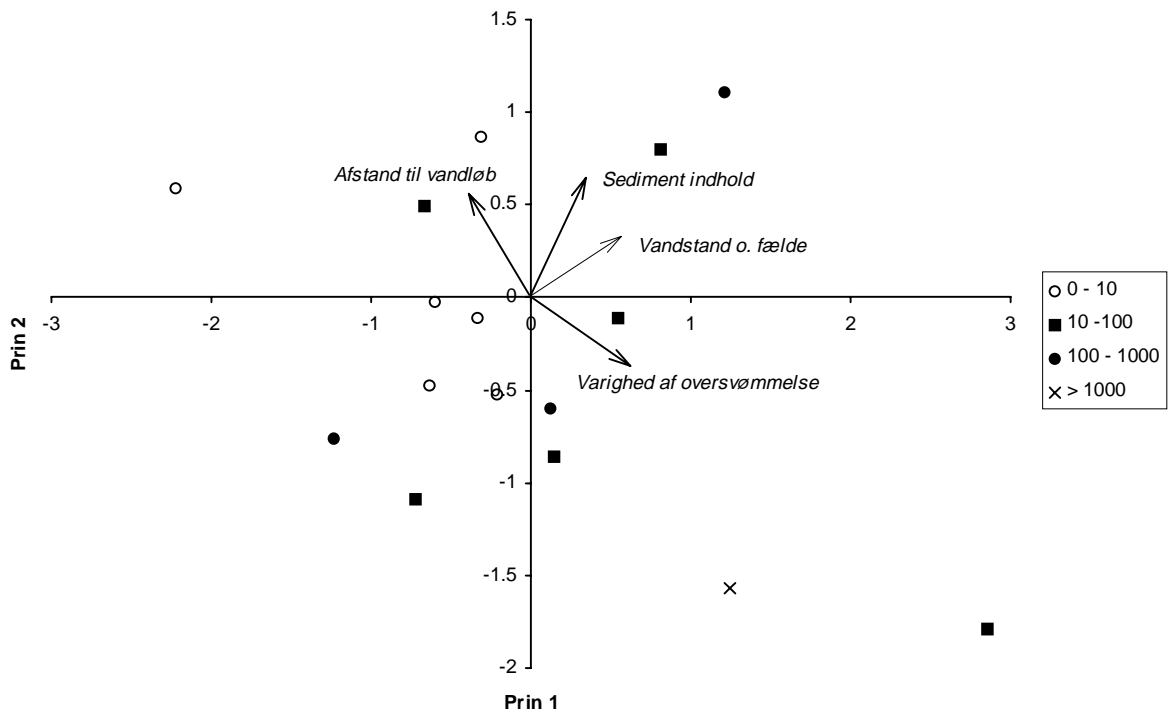
Transekt 4 - Kvælstof



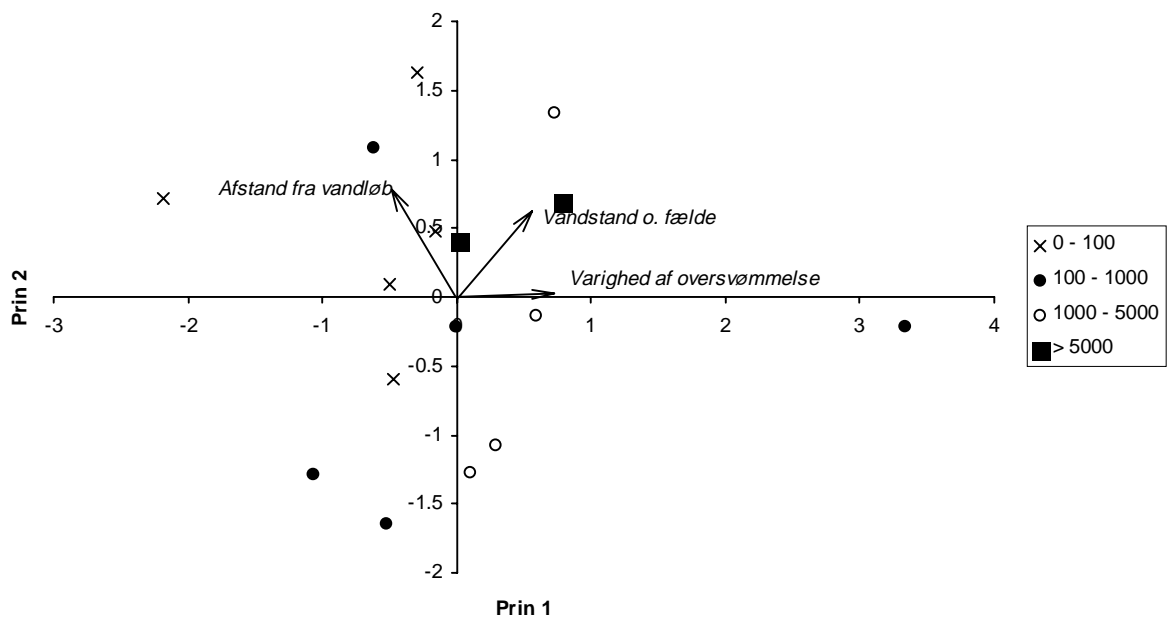
## Bilag 4. PCA analyser af brutto- og nettotilbageholdelsen af sediment og organisk stof



### PCA analyse af nettotilbageholdelsen af organisk stof



### PCA analyse af nettotilbageholdelsen af sediment



# Danmarks Miljøundersøgelser

Danmarks Miljøundersøgelser - DMU - er en forskningsinstitution i Miljø- og Energiministeriet. DMU's opgaver omfatter forskning, overvågning og faglig rådgivning inden for natur og miljø.

Henvendelse kan rettes til:

URL: <http://www.dmu.dk>

Danmarks Miljøundersøgelser  
Frederiksborgvej 399  
Postboks 358  
4000 Roskilde  
Tel: 46 30 12 00  
Fax: 46 30 11 14

*Direktion  
Personale- og Økonomisekretariat  
Forsknings- og Udviklingssektion  
Afd. for Systemanalyse  
Afd. for Atmosfærisk Miljø  
Afd. for Miljøkemi  
Afd. for Havmiljø og Mikrobiologi*

Danmarks Miljøundersøgelser  
Vejløvej 25  
Postboks 413  
8600 Silkeborg  
Tel: 89 20 14 00  
Fax: 89 20 14 14

*Afd. for Terrestrisk Økologi  
Afd. for Sø- og Fjordøkologi  
Afd. for Vandløbsøkologi*

Danmarks Miljøundersøgelser  
Grenåvej 12, Kalø  
8410 Rønde  
Tel: 89 20 17 00  
Fax: 89 20 15 14

*Afd. for Landskabsøkologi  
Afd. for Kystzoneøkologi*

Danmarks Miljøundersøgelser  
Tagensvej 135, 4.  
2200 København N  
Tel: 35 82 14 15  
Fax: 35 82 14 20

*Afd. for Arktisk Miljø*

## Publikationer:

DMU udgiver temarapporter, faglige rapporter, arbejdsrapporter, tekniske anvisninger, årsberetninger samt et kvartalsvis nyhedsbrev, DMU Nyt. Et katalog over DMU's aktuelle forsknings- og udviklingsprojekter er tilgængeligt via World Wide Web.

I årsberetningen findes en oversigt over årets publikationer. Årsberetning og DMU Nyt fås gratis ved henvendelse på telefon 46 30 12 00.