

Transport af suspenderet stof og fosfor i den nedre del af Skjern Å-systemet

Faglig rapport fra DMU, nr. 185

Lars M. Svendsen

Hans Estrup Andersen

Søren Erik Larsen

Afdeling for Vandløbsøkologi

Datablad

Titel: Transport af suspenderet stof og fosfor i den nedre del af Skjern Å-systemet

Forfattere: L.M. Svendsen, H.E. Andersen, S.E. Larsen

Afdelinger: Afdeling for Vandløbsøkologi

Serietitel og nummer: Faglig rapport fra DMU nr. 185

Udgiver: Miljø- og Energiministeriet
Danmarks Miljøundersøgelser ©

Udgivelsesår: April 1997

Tegninger: Kathe Møgelvang & Juana Jacobsen
ETB: Hanne Kjellerup Hansen

Bedes citeret: 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. 90 s. - Faglig rapport fra DMU nr. 185

Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse.

Emneord: Skjern Å-systemet, naturgenopretningsprojekt, vandføring, måling og modellering af suspenderet stof og fosfor

ISBN: 87-7772-315-5
ISSN: 0905-815X
Papirkvalitet: Cyclus Print
Tryk: Silkeborg Bogtryk
Oplag: 300
Sideantal: 90

Pris: kr. 100,- (inkl. 25% moms, ekskl. forsendelse)

Købes hos:

Danmarks Miljøundersøgelser
Vejlsovej 25
Postboks 314
DK-8600 Silkeborg
Tlf. 8920 1400
Fax 8920 1414

Miljøbutikken
Information & Bøger
Læderstræde 1
DK-1201 København K
Tlf. 3392 7692 (information)
3337 9292 (bøger)

Indhold

Forord 5

1 Indledning 7

- 1.1 Introduktion 7
- 1.2 Tidligere undersøgelser 8

2 Lokalteter og metoder 11

- 2.1 Lokaltetsbeskrivelse 11
- 2.2 Metoder 12
 - 2.2.1 Vandføring 12
 - 2.2.2 Vandprøveudtagning 13
 - 2.2.3 Analyse af vandprøver 15
 - 2.2.4 Beregning af stoftransport 16
 - 2.2.5 Hydrauliske målinger 16

3 Vandføring 19

- 3.1 Indledning 19
- 3.2 Afstrømningen i måleperioden ved de intensive stationer 20
- 3.3 Sammenligning af vandføringen ved de kontinuerte vandløbsstationer 22
- 3.4 Q-Q relationer 29
- 3.5 Samlet afstrømning for nedre del af Skjern Å-systemet 31
- 3.6 Varighedskurver 32
- 3.7 Sammenhæng mellem nedbør og afstrømning og udvikling i ekstremer 35
- 3.8 Hydrauliske forhold 37

4 Transport af suspenderet stof og fosfor i den nedre del af Skjern Å-systemet 41

- 4.1 Indledning 41
- 4.2 Varierer koncentrationen på tværs af og med dybden i et vandløb? 41
- 4.3 Sammenligning af intensiv- og punktprøvetagning 45
- 4.4 Suspenderet stoftransport i 1994 og 1995 48
- 4.5 Empiriske relationer for transport af suspenderet stof og total fosfor 51

5 Sammenfatning og konklusion 59

6 Referencer 63

Bilag

- 1 Statistik på beregnede døgnmiddelvandføringer for den nedre del af Skjern Å-systemet 67
- 2 Hydrauliske parametre i syv vandløb i Skjern Å-systemet 71

- 3 Dybdeintegreret prøvetaging 77
- 4 Parameterværdier for de empiriske stofkoncentrationsfunktioner 79

Danmarks Miljøundersøgelser

Faglige rapporter fra DMU/NERI Technical reports

Forord

Denne rapport udarbejdet af Danmarks Miljøundersøgelser, Afdeling for Vandløbsøkologi sammenfatter resultater fra undersøgelserne vedrørende transporten af suspenderet stof og fosfor i den nedre del Skjern Å-systemet. Der har været gennemført undersøgelser i 7 vandløb samt inddraget den lange tidsserie for vandføringer, der findes for Skjern Å, Ahlergårde. Forskellige prøvetagningsmetoder sammenlignes og der etableres en empirisk sammenhæng mellem afstrømning og transport af suspenderet stof og fosfor i den nedre del af Skjern Å-systemet. Der er foretaget en genberegning af vandføringstidsserien ved Skjern Å, Ahlergårde og beregnet historiske belastninger med vand, suspenderet stof og fosfor.

Rapporten er en af flere, som giver resultater af de forundersøgelser, der blev gennemført i perioden 1993 til 1995 før iværksættelsen af Skjern Å naturgenopretningen for at forbedre vidensgrundlaget for en vurdering af de miljømæssige effekter ved en genetablering af vådområder, et mæanderende å-forløb og indskydelsen af en lavvandet sø. Bundsedimenttransporten i den nedre del af Skjern Å er rapporteret i *Petersen og Hasholt (1995)*. Der er udarbejdet en rapport, der samler hovedresultatet af tidligere undersøgelser og kobler disse sammen med de seneste undersøgelser (*Svendsen og Hansen, 1997*).

Projektet er finansieret af Skov og Naturstyrelsen og Danmarks Miljøundersøgelser, der takkes for støtten.

Forfatterne ønsker at rette en tak til Ringkjøbing Amtskommune for at stille data til rådighed og til Hedeselskabet for hurtigt at levere data fra Omme Å og fra Skjern Å, Kodbøl. Der skal også lyde en tak til Bent Hasholt, Geografisk Institut, Københavns Universitet for projektsamarbejde. Vi påskønner laboranternes indsats i feltet og med analyserne af vandprøverne og Niels Bering Ovesen og Hans Legard Iversen med oparbejdning af en del af vandføringsdataene. Endelig skal der lyde en varm tak til Brian Kronvang for faglig assistance.

1 Indledning

1.1 Introduktion

Tidligere forundersøgelser

Folketinget vedtog i 1987 at gennemføre en restaurering af den nedre del af Skjern Å-systemet. Der blev nedsat en Skjern Å arbejdsgruppe, som foranledigede at der blev iværksat et antal forundersøgelser samt udarbejdet skitseprojekter i 1987 og 1988 (*Cowi-Consult (1987), Hedeselskabet (1987), Samfundsteknik A/S (1987)*). I 1989 blev det besluttet at arbejde for den såkaldte "Syd-løsning" udarbejdet af Hedeselskabet og Cowi-Consult i fællesskab i 1988.

Danmarks Miljøundersøgelser (DMU) udarbejdede på den baggrund i 1989 et notat med forslag til et undersøgelses- og overvågningsprogram i forbindelse med et kommende projekts gennemførelse. Der blev i november 1991 nedsat en anden arbejdsgruppe, der skulle iværksætte et undersøgelses- og overvågningsprogram. Arbejdsgruppen foreslog i 1992 otte forskellige delprojekter, herunder et projekt omhandlende måling af sedimenttransporten i den nedre del af Skjern Å-systemet. I efteråret 1993 indgik Skov- og Naturstyrelsen en kontrakt med Geografisk Institut, Københavns Universitet og Danmarks Miljøundersøgelser, Afdeling for Ferskvandsøkologi (nu Afdeling for Vandløbsøkologi) om dette emne.

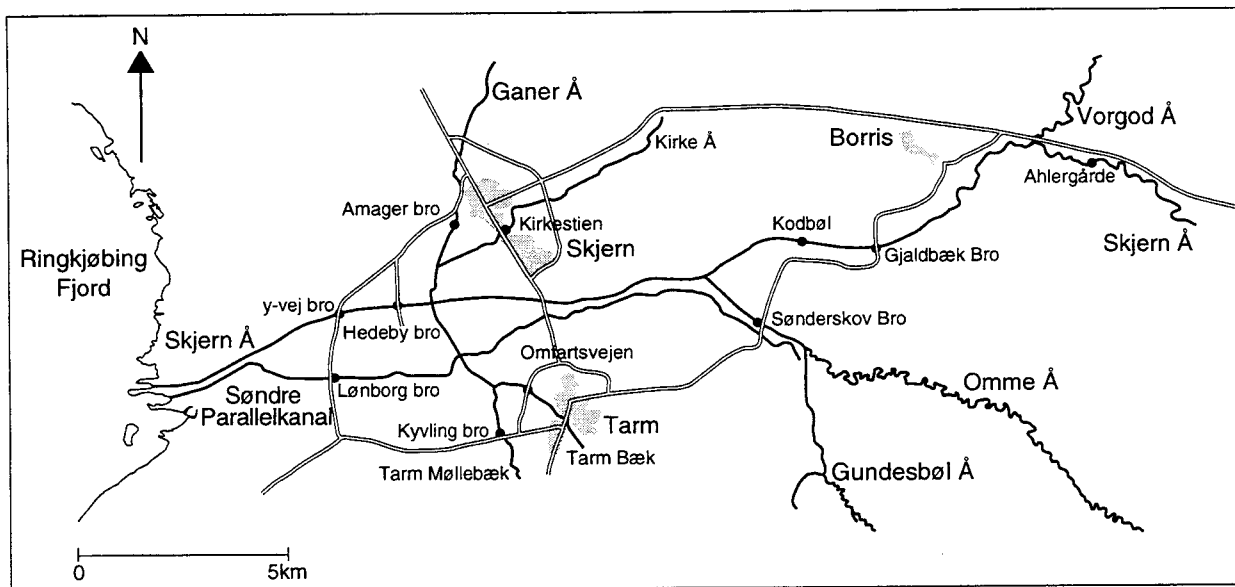
Formålet med og indholdet af denne undersøgelse

Formålet med undersøgelsen var at forbedre mulighederne for at belyse den dynamiske udvikling og selvrensning i den nedre del af Skjern Å efter en naturgenopretning, herunder sedimentationsraterne i de indskudte vådområder og søer, samt effekterne af oversvømmelse for tilbageholdelse af finpartikulært stof og fosfor. Der skulle gennemføres følgende undersøgelser:

- 1) Feltmålinger af bundtransport og transport af suspenderet stof i Skjern åens hovedløb opstrøms Borris samt Omme Å's og de øvrige tilløb på strækninger fra Borris til Skjern Å's udmunding.
- 2) Foretages kornstørrelsesanalyser af bundtransporteret sediment og af suspenderet stof i transport.
- 3) Etableres empiriske sammenhænge mellem hydrauliske parametre, vandføring og sedimenttransport til brug for beregning af sedimenttransporten i gennemsnits- og ekstrem-situationer (minimum og maksimum) ud fra allerede eksisterende viden om vandføring. De empiriske transportrelationer sammenlignes med teoretiske transportformler f.eks. *Meyer-Peter og Müller (1948), Engelund og Hansen (1967), Ackers og White (1973), Engelund og Fredsøe (1976), Fredsøe (1984) og Wiuff (1985)* med henblik på at fastlægge disses anvendelsesområde og at kalibrere disse ind på Skjern Å.

Denne rapport omhandler suspenderet stof og fosfortransport

DMU's opgave var at stå for suspenderet stof undersøgelserne under punkt 1 og 3. Undersøgelserne skulle foretages i perioden oktober 1993 frem til juni 1995. Denne rapport omhandler undersøgelserne vedrørende transport af suspenderet stof og fosfor i Skjern Å, Gjaldbæk; Omme Å, Sønderskov Bro; Ganer Å, Amager Bro; Kirke Å, Kirkestien; Tarm Bæk, Omfartsvejen; Tarm Møllebæk, Kyvling Bro og Søndre Parallekanal, Lønborg Bro (figur 1). Hovedparten af disse stationer er sammenfaldende med dem, der anvendes til bundsedimenttransportprojektet (Pedersen og Hasholt, 1995).



Figur 1 Skitsekort med målestationer i den nedre del af Skjern Å-systemet. Med cirkel er markeret de anvendte målestationer.

Udvidelse af måleprogram

I forhold til projektbeskrivelsen er der suppleret med målinger af fosfor (total og opløst) og organisk stof, og der er lagt vægt på sammenligning af prøvetagningsmetoder (punktprøver, kontinuerte målinger og dybdeintegrerede prøver). Endvidere har DMU valgt at forlænge måleperioden frem til årsskiftet 1995/1996, så den dækker to hele kalenderår. Da ingen af de teoretiske formler er anvendelige på den brede definition af suspenderet stof, som er anvendt i denne undersøgelse er modelarbejdet fokuseret omkring etablering af robuste empiriske sammenhænge.

Sammenkobling mellem bundsedimenttransport og suspenderet transport og vurdering af fremtidige depositions-rater i den nedre del af Skjern Å er foretaget i samlerapporten for alle undersøgelserne (Svendsen og Hansen, 1997).

1.2 Tidligere undersøgelser

Tidligere målinger af suspenderet transport

Målinger af suspenderet transport er kun undersøgt i to korte perioder. Christensen et al. (1970) har beregnet en årlig suspenderet stoftransport på 24.000 ton baseret på nogle få koncentrationsmålinger af suspenderet stof og betragtninger af varighedskurver for

Teoretiske beregninger af suspenderet transport

vandføringen. Hasholt og Jacobsen (1977) bestemte den årlige suspenderede stoftransport til 14.300 ton.

Cowi-Consult (1987) har anvendt teoretiske formler og herfra estimeret den suspenderede stoftransport til i et middelår at udgøre 5.000 ton (minimum 1.000 ton, maksimum 15.000 ton).

Hovedparten af transportformlerne vedrører bundtransport af partikulært materiale, eller i visse tilfælde totaltransporten (dvs. bundtransport og suspenderet stof). Kun Wiuff (1985) kan betragtes som en egentlig teoretisk formel for suspenderet stoftransport.

De hidtige undersøgelser vedrørende suspenderet transport er sammenfattet i tabel 1 (mange af tallene er fra Cowi-Consult, 1987).

Der er således meget stor usikkerhed vedrørende hvor meget suspenderet partikulært materiale, der tilføres den nedre del af Skjern Å-systemet og hvor stor en del, der transporteres som bundtransport.

Der er ikke tilsvarende målinger for tilførsel af fosfor til den nedre del af Skjern Å-systemet.

Tabel 1 Målte og beregnede årstransporter af suspenderet stof i den nedre del af Skjern Å-systemet opsamlet fra litteraturen. Se tabel 2 for definition af termer.

	Suspenderet transport ton pr. år	Suspenderet transport i % af totale sedi- menttransport
Christensen et al. (1970)	24.000	35
Hasholt og Jacobsen (1977)	14.300	
Cowi-Consult (1987): Teoretisk formel: middel	5.000	14
min.	2.000	14
max.	20.000	25
Engelund-Hansen og Wiuff	max. 34.000	33
Fredsø	max. 2.000	4
Teoretisk maksimum: Engelund-Hansen og Wiuff	max. 66.000	36
Fredsø	max. 7.000	10

*Underestimering af sus-
penderet stoftransport og
af fosfortransporten ved
punktprøvetagning*

Ved punktprøvetagning vil der i hvert fald i mindre vandløb ske en underestimering af transporten af såvel suspenderet stof som af fosfor (den partikulært bundne del), som kan være betydelig (Græsbøll et al. 1994, Larsen et al., 1995 og Kronvang et al., 1997). Specielt den suspenderede stoftransport synes at kunne underestimeres betragteligt. Disse forhold er dog ikke undersøgt for større danske vandløb, men der forventes en vis grad af stoftransportunderestimering i disse, da der også i større vandløb iagttages kraftigt stigende

koncentrationer under flom-begivenheder, bl.a grundet ophvirvling af materiale på vandløbsbunden (fra grødeøer) og langs vandløbets bredder (Svendsen og Kronvang, 1990; Svendsen og Kronvang, 1993 og Svendsen et al., 1995).

*Definitionen af transport-
termer*

I denne rapport er suspenderet stof defineret og målt som partikulært materiale, der bevæger sig i suspension (svæv) i vandsøjlen i vandløbet og som består af såvel organiske som uorganiske komponenter.

I tabel 2 har professor Jørgen Fredsø (Danmarks Tekniske Universitet) tydeliggjort definitionen af forskellige transporttermer, som er anvendt i denne og andre rapporter vedrørende stoftransport i Skjern Å.

Tabel 2 Definition af nogle termer fra professor Jørgen Fredsø.

	Cowi	DMU
Kontakt load (tykkelse: nogle få korndiametre)	Bundtransport	Bundtransport
Bundnær transport (tykkelse 10-20 cm)	Suspension	Bundtransport
Hele vanddybden (næsten ensformigt fordelt)	Svær	Suspension

2 Lokalteter og metoder

2.1 Lokaltetsbeskrivelse

Anvendte målelokaliteter

Målestationerne er lagt, så de dækker den samlede tilførsel til det område, der ved en kommende naturgenopretning er planlagt at blive en lavvandet sø sydvest for Skjern By, kaldet Hestholm Sø. Endvidere er medtaget stationen Lønborg Bro i Søndre Parallelkanal, som ligger nedstrøms Hestholm Sø. Målelokaliteterne anvendt i forbindelse med denne undersøgelse fremgår af figur 1 og tabel 3. En karakteristik af Skjern Å oplandets topografi og geologi er givet i *Svendsen og Hansen (1997)*, hvor der også er redegjort i større detaljer om målestationernes oplandsarealer.

Tabel 3 Lokalteter anvendt i denne rapport. Stationstyperne er beskrevet i tabel 4.

Vandløb	Målelokalitet	DMU nummer	Oplandsareal km ²	Stationstype
Skjern Å	Ahlergårde	250082	1055 ¹⁾	3
Skjern Å	Gjaldbæk	250097	1558 ¹⁾	1
Skjern Å	Kodbøl	250081	1558 ¹⁾	3
Omme Å	Sønderskov Bro	250078	612 ¹⁾	1
Tarm Bæk	Omfartsvejen	250098	45 ²⁾	2
Tarm Møllebæk	Kyvling Bro	250099	35 ²⁾	2
Kirke Å	Kirkestien	250102	44 ²⁾	2
Ganer Å	Amager Bro	250101	80 ²⁾	2
Søndre Parallelkanal*	Lønborg Bro	250100	272*	2

* Der foregår oppumpninger til Søndre Parallelkanal, hvorfor oplandsarealet kun er omtrentligt.

¹⁾ Oplandsstørrelser fra Danmarks Miljøundersøgelsers oplandsdatabase

²⁾ Arealer opmålt af Danmarks Miljøundersøgelser

Ganer Å føres under Skjern Å til Søndre Parallelkanal

Ganer Å og Kirke Å løber sammen i Skjern By nord for Skjern Å og ledes under denne via en kanal ned i Søndre Parallelkanal (figur 1). Tarm Bæk og Tarm Møllebæk løber sammen vest for Tarm og føres fra syd ind i Søndre Parallelkanal i samme punkt som Ganer Å centralt i et område, der ved en naturgenopretning er planlagt til at blive den kommende, lavvandede Hestholm sø.

Søndre Parallelkanal, Lønborg Bro

Stationen i Søndre Parallelkanal, Lønborg Bro er valgt for at få dækket det restbidrag til Søndre Parallelkanal, der ikke dækkes af Ganer Å, Tarm Bæk og Tarm Møllebæk. Det samlede målte areal til Hestholm sø bliver, hvis Skjern Å også ledes hertil, på cirka 2470 km² med de nuværende vandløbsforløb.

Vandløbsstationstype

Stationerne ved Skjern Å, Gjaldbæk og Omme Å, Sønderskov Bro, der dækker hovedparten af oplandet til den nedre del af Skjern Å-systemet (2170 km²), blev oprettet som intensivstationer til kontinuert måling af den suspendede transport og af fosfortransporten (type 1 i tabel 4). De fem type 2 stationer blev anvendt til kampagne-målinger ca. en gang om måneden. Stationerne er valgt koordineret med stationerne til bestemmelse af bundtransporten (Petersen og Hasholt, 1995). Skjern Å, Gjaldbæk er valgt fremfor Skjern Å, Kodbøl, da styrtene ved Kodbøl umuliggør gennemførelse af målinger af sedimenttransport.

Stationer med lange vandføringstidsserier

Type 3 stationerne har lange tidsserier med vandføringer (Q) (Skjern Å, Ahlergårde fra 1920 og Skjern Å, Kodbøl fra 1974) og anvendes som reference station for at etablere Q-Q sammenhænge med type 1 stationerne bagud i tid.

Tabel 4 Stationstyper med de undersøgelsesprogrammer der omtales i denne rapport.

	Type 1	Type 2	Type 3
Lang tidsserie med vandføringsmålinger			x
Vandstand og vandføring kontinuert	x		x
Kontinuert prøvetagning af vandprøver	x		
Punktprøver hver 14. dag	x		
Punktprøver hver måned	x	x	
Dybdeintegrerede prøver	x	x	
Hældning, hydrauliske målinger	x	x	

2.2 Metoder

Målingerne blev påbegyndt i oktober 1993 og afsluttet pr. 1. 1. 1996. Hele måleperioden er medtaget i beregningerne, men i flere figurer og tabeller er der kun vist resultater for de to kalenderår 1994 og 1995 af hensyn til overskueligheden.

2.2.1 Vandføring

Vandføring er en nøgleparameter ved beregning af stoftransport, og kræver en så præcis fastlæggelse som muligt for at give troværdige stoftransportestimater. Vandføringen måles normalt kun et antal gange om året (12-26 i danske vandløb, Larsen et al., (1995)), og beregnes ud fra en relation mellem vandstand og vandføring, da vandstand er relativ let - og billig - at måle kontinuert og præcist.

Måling af vandføring

Vandføringen er i felten målt med enten en OTT universal flügel (Skjern Å, Omme Å, Søndre Parallelkanal) eller en OTT kleinflügel (Tarm Bæk, Tarm Møllebæk, Ganer Å, Kirke Å) cirka en gang pr. måned, i princippet samme dag ellers indenfor 2 dage ved de syv

stationer. Vandføringen er beregnet ved hjælp af Hedeselskabets "Vinge"-procedure (Fagdatacenter for hydrometriske data, 1990).

Måling af vandstand

I Skjern Å, Gjaldbæk blev der opstillet en vandstandsskriver til kontinuert registrering af vandstanden. Denne blev automatisk registreret hvert tiende minut og målingerne opsamlet på en datalogger (Mylog). Der var i forvejen opstillet en vandstandsskriver tilsluttet datalogger ved Skjern Å, Kodbøl og Omme Å, Sønderskov Bro (tilhørende Ringkjøbing Amtskommune, men drevet af Hedeselskabet) og ved Skjern Å, Ahlergårde (drevet af Fagdatacentret for Hydrometri ved DMU siden 1994 og før da af Hedeselskabet). Ved de tre sidstenævnte stationer er der beregnet vandføringstidsserier for perioden siden henholdsvis 1975, 1989 og 1921.

Beregning af vandføring

På basis af sammenhørende værdier af målte vandføringer (Q) og vandstande (H) dannes en relation til beregning af øjebliksvandføringer (en Q-H-relation), og heraf kan der beregnes døgnvandføringer. Q-H relationerne er dannet med Hedeselskabets HYMER-program (Hedeselskabet, 1994). Usikkerheden ved den enkelte vandføringsbestemmelse er 2-5 % (Fagdatacentret for hydrometriske data, 1990), idet der måles i mindst 10 tværprofiler i de store vandløb og i mindst 4-5 dybder i hvert profil. Q-H relationerne kan være usikre, hvis der er en kraftig grødepåvirkning, men denne skønnes at have været relativ beskeden i Skjern Å og Omme Å. Endvidere kan der være store usikkerheder ved høje vandføringer (som transportmæssigt er vigtige), især hvis vandløbene går over deres bredder. I disse tilfælde vil der ofte ske en (væsentlig) underestimering af vandføringen (se kapitel 3). De valgte type 1 og 2 stationer var ikke oversvømmet i undersøgelsesperioden, men i marts 1994 var der omfattende oversvømmelser i både den regulerede og uregulerede del af Skjern Å. Langs den uregulerede del (øst for Borris, figur 1) blev store mark- og engarealer oversvømmet og på den regulerede del vest for Borris var der den 7. marts 1994 overløb ved digernes overløbsramper, hvilket muligvis gentog sig senere i marts 1994 (personlig oplysning Jørgen Jørgensen, Ringkjøbing Amtskommune).

Døgnvandføringen ved øvrige stationer

Ved stationerne uden kontinuert vandstandsregistrering (type 2) var der opstillet et vandstandsbræt til kontrol af vandføringsmålingernes pålidelighed. Døgnvandføringer ved type 2 stationerne er beregnet ud fra Q-Q relationer mellem type 1 og type 3 stationerne på basis af sammenhørende vandføringer. Der er gennemført både lineær og eksponentiel regression (se kapitel 3.3).

3 typer vandprøver

2.2.2 Vandprøveudtagning

Vandprøver blev udtaget med 3 forskellige metoder:

- a) punktprøver med 1 liters flasker
- b) puljede prøver (kontinuert) med en automatisk prøvetager (ISCO)
- c) dybdeintegrerede prøver med en Nilsson prøvetager

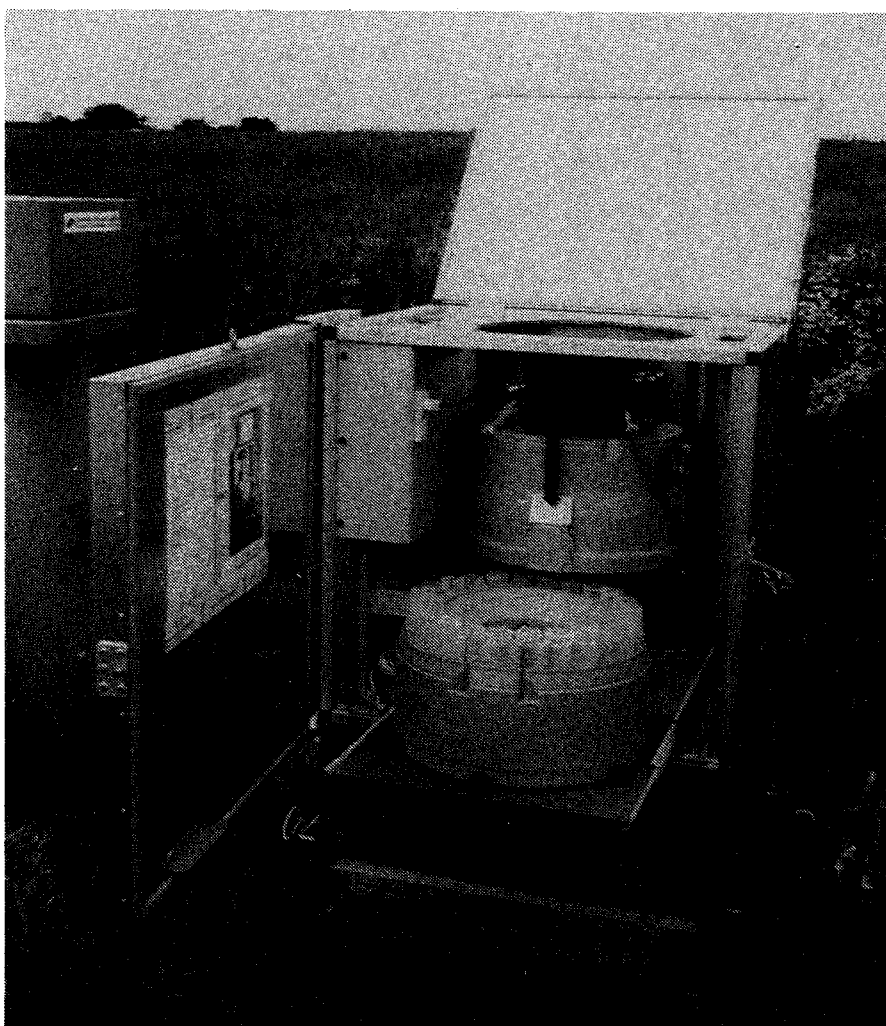
Punktprøveudtagning

Punktprøverne blev som standard udtaget 10 cm under vandoverfladen i vandløbene. Der blev endvidere kampagnevis i type 1 og 2 vandløbene taget punktprøver i forskellige dybder for at sammenligne punktprøver med dybdeintegrerede prøver.

Automatiskprøveudtagning

Der var opstillet automatisk prøvetager - ISCO 3700 - ved de to intensiv-stationer (type 1) (figur 2). Vandprøven suges op gennem en slange via et indtag, der var fastmonteret til en stang i vandløbet og placeret i en fast højde over vandløbsbunden. Indtaget var placeret så langt fra bredden, at der altid var strømmende vand ved indtaget. Det sad ca. 1 m over bunden ved Skjern Å, Gjaldbæk og 0,4-0,8 m over vandløbsbunden i Omme Å, Sønderkov Bro (lavest om sommeren, når vandstanden var lav). Pumpeslange var vand- og lysisoleret og omkapslet af en termostateret varmetråd for at holde slangen frostfri. ISCO-sampleren var placeret i et termostateret skab, således at skabet blev holdt frostfrit i vinterhalvåret. For at sikre driftsstabilitet var der installeret strøm (220 V) til det beskrevne system.

Figur 2 Foto af en automatisk prøvetager placeret i et termostateret, lystæt skab.



Delprøver udtaget hver 4. time ved de to intensive stationer

Der blev udtaget 0,5 l vandprøve hver fjerde time i 1 liters flaske og udtaget 2 delprøver pr. flaske, dvs. 3 flasker pr. dag eller 21 pr. uge. Prøverne, der stod mørkt, blev hjemtaget en gang pr. uge. Ved

hjemkomsten til laboratoriet blev de puljet enten til en prøve dækkende en uge eller puljet med kortere intervaller, dog mindst et døgn, hvis der havde været en større flom i løbet af ugen (dette blev vurderet ud fra et plot af vandstanden). Alle anvendte puljingsintervaller dækker hele døgn.

Udtagning af dybdeintegrerede vandprøver

Ved en dybdeintegreret prøvetagning søges udtaget flowproportionale prøver i et dybdeprofil, der samtidig dækker hele vandsøjlen dog uden at medtage bundtransporten (se definition af termer i tabel 2). Der anvendtes en Nilsson prøvetager (figur 3) (Nilsson, 1969). Dybdeintegrerede prøver blev udtaget ved de syv type 1 og 2 vandløb, ca. 1 gang om måneden i vinterhalvåret, sjældnere i sommerhalvåret. Nilsson prøvetageren monteres på en kran placeret på rækværket af en bro og sænkes langsomt og med konstant hastighed ned og op gennem vandsøjlen, så der udtages en vandprøve på en liter. På kranen kan man aflæse dybden i de profiler, der udtages dybdeintegrerede prøver. Der kan samples med en Nilsson prøvetager til ca. 10 cm over bunden.

I tabel 5 er angivet hvor og hvor mange dybdeintegrerede prøver, der blev udtaget i de syv type 1 og 2 vandløb.

Tabel 5 Oversigt over antallet af profiler pr. vandløb som der er udtaget dybdeintegrerede prøver i. Ved nogle kampagner blev antallet pr. station ca. halveret.

Vandløb	Lokalitet	Antal	Placering af profiler meter i forhold til venstre brink
Skjern Å	Gjaldbæk	7	17,5; 20,0; 22,0; 28,0; 30,0; 37,0; 41,0
Omme Å Søndre	Sønderskov Bro	6	7,0; 9,5; 12,0; 15,0; 17,5; 20,0
Parallelkanal	Lønborg Bro	4	12,5; 21,0; 25,0; 34,0
Ganer Å	Amager Bro	3	2,5; 3,9; 5,3
Kirke Å	Kirkestien	2	1,35; 3,15
Tarm Møllebæk	Kyvling Bro	2	1,5 3,5
Tarm Bæk	Omfartvejen	3	2,0; 3,3; 5,3

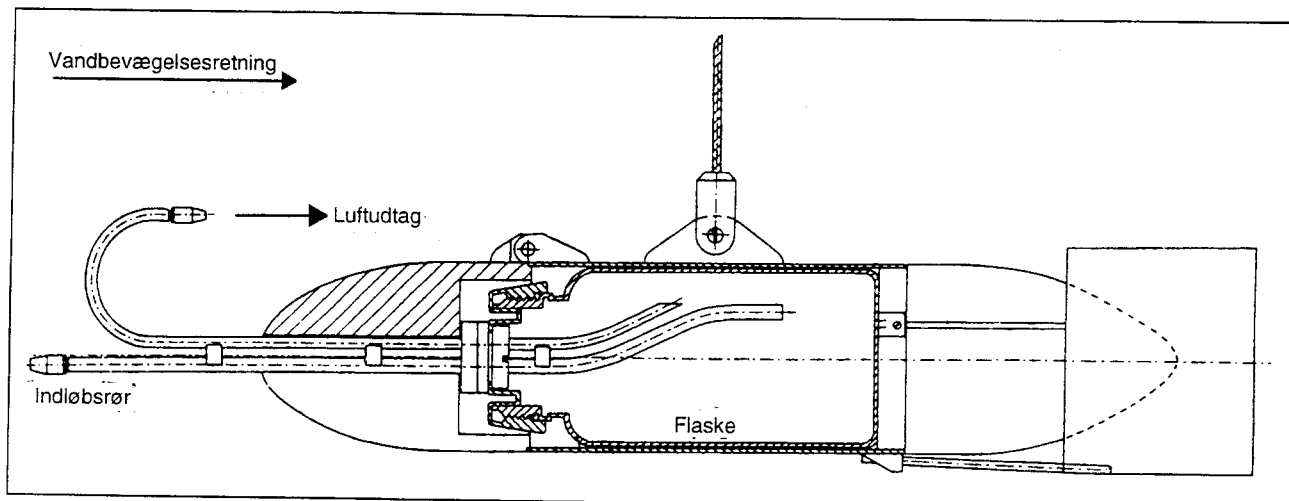
Punktprøver i forskellige dybder

For at kunne vurdere repræsentativiteten af punktprøver blev der kampagnevis i de profiler (vandsøjle), hvor der var taget dybdeintegrerede prøver, udtaget 3 punktprøver henholdsvis 10 cm over bunden, 10 cm under vandoverfalden og i profilet's middeldybde, såfremt forholdene tillod det, ellers kun 2 eller 1 punktprøve.

Analysemetode

2.2.3 Analyse af vandprøver

Vandprøverne blev opbevaret koldt og mørkt, indtil de blev analyseret. Dette skete normalt døgnet efter hjemtagelse. Repræsentative delprøver af punktprøver, puljede og dybdeintegrerede prøver blev filtreret gennem et 1,2 μm Whatman GF/C glas mikrofiber filter og analyseret for suspenderet stof (Dansk Standard, 1985). Efter tørring og vejning blev filter med substrat glødet ved 550 °C i to timer for at bestemme gløderesten (og hermed indholdet



Figur 3 Skitse af Nilsson dybdeintegreret prøvetager. Vandet strømmer ind i flasken inde i prøvetageren gennem det vandrette rør og luften undslipper gennem det bøjede rør.

af organisk stof). Total fosfor blev omdannet til opløst, reaktivt fosfor ved en sur perchlorid oplukning i en autoklave (Koroleff, 1983). Mængden af opløst reaktivt fosfor blev bestemt kolorimetrisk efter udfarvning med molybdenblåt (Murphy and Riley, 1962). Metoden svarer til Dansk Standard 291 og Dansk Standard 292 (1985).

Detektionsgrænse og analyseusikkerhed

Detektionsgrænsen for suspenderet stof er 2 mg l^{-1} med en analyseusikkerhed (standardafvigelse) på $\pm 1 \text{ mg l}^{-1}$. Ved lave koncentrationer af suspenderet stof angives usikkerheden ved variationskoefficienten CV, som er på 10-20%. Analyseusikkerheden for total fosfor er $\pm 0,005 \text{ mg l}^{-1}$ og detektionsgrænsen er $\pm 0,010 \text{ mg l}^{-1}$ og CV 2-3%. De tilsvarende værdier for opløst orthofosfat er henholdsvis $\pm 0,002 \text{ mg l}^{-1}$ og $\pm 0,005 \text{ mg l}^{-1}$ og CV 1-2% (Svendsen og Rebsdorf, 1994).

2.2.4 Beregning af stoftransport

For punktprøver og dybdeintegrerede prøver blev stoftransporten på døgnbasis beregnet ved at gange døgnvandføringer med døgnkoncentrationsværdier. Disse blev fundet ved lineær interpolation mellem de målte koncentrationer. For de intensive prøver (kontinuert, puljede prøver) blev døgnvandføringen ganget på døgnkoncentrationsværdier, som fremkom ved at lade målte koncentrationer gælde for de dage (eller den dag), der var puljet over. Herefter kunne stoftransporten integreres over den ønskede periode (uge, måned eller år).

2.2.5 Hydrauliske målinger

I forbindelse med hver kampagnemåling ved type 1 og 2 målestationerne blev vandspejlshældningen målt med et nivellementsapparat hen over en strækning på 100-200 m opstrøms og nedstrøms det tværprofil, hvor der blev målt vandføringer og taget vandprøver. Der blev nivelleret i 6-8 punkter pr. vandløb pr. gang. Endvidere blev der ved hver vandføringsmåling opmålt et tværprofil ved type 1 og 2 stationerne.

Måling af hydrauliske parametre

Shear stress

Forskydningspændingen over en strækning (eller strækningens shear stress) τ_s kan beregnes som:

$$\tau_s = g I D \rho \quad (1)$$

, hvor

g = tyngdeaccelerationen

I = hældningen (her vandspejlshældningen)

D = middelvanddybde

ρ = vands vægtfylde

Andre hydrauliske parametre

Andre hydrauliske parametre bestemmes ud fra tværprofilopmålinger, således den hydrauliske radius (R_h) og tværprofilets areal (A), hvorefter Mannings tal M (der er reciprokken til modstandstallet n) kan beregnes som:

$$M = V R_h^{2/3} I^{1/2} \quad (2)$$

, hvor V er middel strømhastigheden.

3 Vandføring

3.1 Indledning

Kendskab til den samlede afstrømning i den nedre del af Skjern Å-systemet er afgørende for at kunne bestemme den samlede transport af suspenderet stof og fosfor. Samtidig er det afgørende at vide indenfor hvilket interval afstrømningen kan variere ved dimensioneringsberegninger i forbindelse med en kommende naturgenopretning.

Problemer ved beregning af transport bagud i tid

Beregning tilbage i tiden af f.eks. suspenderet stoftransport forudsætter som minimum et kendskab til afstrømningen og en relation mellem afstrømning og koncentration af suspenderet stof, som man antager også har gyldighed for den periode, hvorfra der mangler koncentrationsmålinger. Denne tilbageførsel af f.eks. empirisk opstillede relationer er ikke uden vanskeligheder, da der kan være effekter af opmagasinerings af partikulært materiale i vandløbssystemet og variation i mængden af tilgængeligt partikulært materiale, der kan tilføres vandløbet (f.eks. *Svendsen et al., 1995* og *Kronvang, 1996*). Herudover kommer effekten af menneskeskabte indgreb, som dræning og udretning af vandløbsstrækninger, der i stor stil foregik i slutningen af 1950'erne og i 1960'erne, dannelse/fjernelse af styrt, ændret arealudnyttelse, ændret belastning fra punktkilder samt ændrede klimatiske forhold, som ikke kan indbygges i et empirisk udtryk baseret på to års målinger (*Svendsen og Hansen, 1997*). Der kan således ikke tages højde for, at der før udretningen af Skjern Å's nedre del og før den tætte dræningsintensivitet blev iværksat, har været hyppige oversvømmelser, hvor en del af det suspenderede stof er blevet deponeret på de vandløbsnære arealer, og derfor ikke er nået frem til den nederste del af Skjern Å-systemet.

Afgørende for korrekt beregning er en korrekt vandføring

Der er derfor behov for en præcis beregning af vandføringen (Q) i måleperioden, ligesom en analyse bagud i tiden af vandføringsmønstre (frekvensfordeling, ekstremer og ændringer heri) og sammenhæng/respons på nedbør kan forbedre den empiriske relation, der opstilles.

Skjern Å, Ahlergårde anvendes som nøglestation

Skjern Å, Ahlergårde er anvendt som den station, hvortil der etableres Q-Q relationer for at bestemme den samlede afstrømning i måleperioden i den nedre del af Skjern Å-systemet, og til analyse af afstrømningsmønstre samt afstrømningsberegninger bagud i tid, da der her foreligger vandføringsmålinger fra begyndelsen af 1920'erne. I 1920'erne er der dog en del huller i Q-dataserien.

Skjern Å, Ahlergårde vandføringerne er underestimeret ved høje vandstande

Det har vist sig at der hidtil ikke har været taget højde for, at ved Skjern Å, Ahlergårde løber åen over bredderne ved høje afstrømninger, hvorfor de høje afstrømninger har været underestimeret. Der er derfor foretaget en korrektion af høje vandføringer ved Skjern Å, Ahlergårde for perioden 1920-1995 i afsnit 3.3.

3.2 Afstrømningen i måleperioden ved de intensive stationer

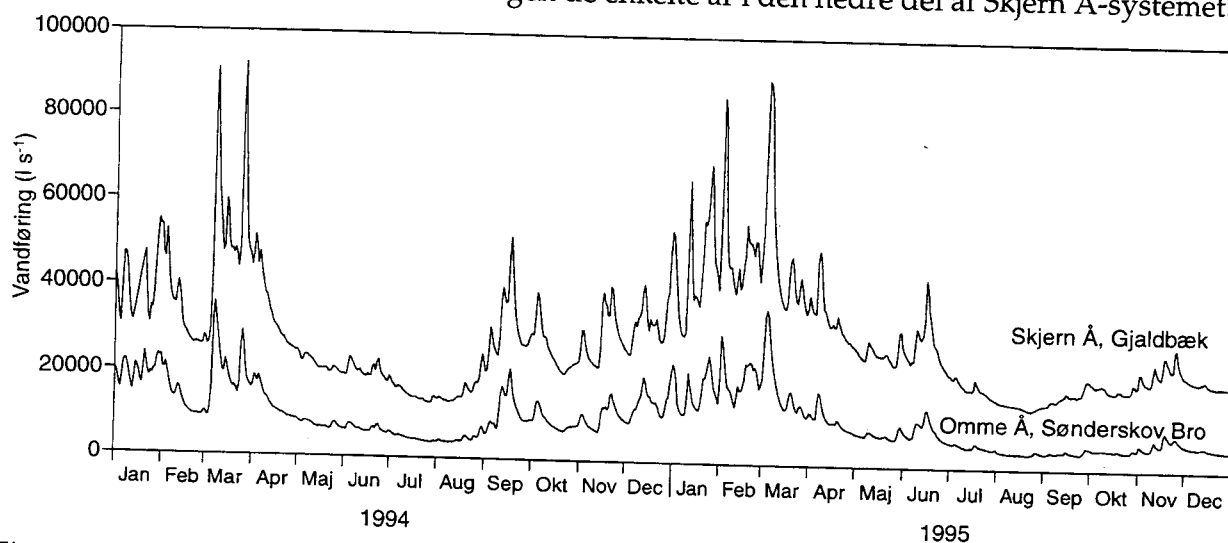
Sammenligning af vandføringer i Omme Å og Skjern Å i 1994 og 1995

Vandføringen ved Skjern Å, Gjaldbæk og Omme Å, Sønderskov Bro varierer nogenlunde ensartet i måleperioden (figur 4). Skjern Å, Gjaldbæk synes dog at få relativt mere ekstreme vandføringer i flom-situationer, mens vandføringen i Omme Å, Sønderskov Bro falder til et relativt lavere niveau end i Skjern Å i det tørre 2. halvår af 1995 (figur 4). Dette understreges af afstrømningsplottene i figur 5 og 6, hvor f.eks. den anden afstrømningstop i marts 1994 er væsentligt lavere i Omme Å ($< 50 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$) end i Skjern Å ($60 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$). Endvidere er afstrømningen i det nedbørsfattige 2. halvår af 1995 i gennemsnit ca. $8 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$ i Omme Å mod ca. $13 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$ i Skjern Å. Dette antyder at grundvandsmagasinerne betydning for afstrømningen ved Omme Å, Sønderskov Bro er relativt mindre end ved Skjern Å, Gjaldbæk.

Nedbørsforhold i 1994 og 1995 sammenlignet med afstrømningen

Nedbøren i Danmark var med 880 mm rekordhøj i 1994, men i 1995 under normalen for 1961-1990 med 644 mm. For oplandet til Skjern Å var der et tilsvarende mønster, idet nedbøren var henholdsvis 18 % over og 9 % under normalen i 1994 og 1995 (tabel 6). Ved Skjern Å, Ahlergårde var afstrømningen særdeles høj i 1994 (21 % over normalen - hvor normalen er defineret som gennemsnittet for perioden 1971-90), og det er derfor nærliggende at antage at dette også har været tilfældet ved Skjern Å, Gjaldbæk og ved Omme Å, Sønderskov Bro. Afstrømningen ved Skjern Å, Ahlergårde var i 1995 15 % over normalen og 5 % lavere end i 1994 selv om nedbøren var 23% lavere i 1995 end i 1994 (tabel 6). Tilsvarende var afstrømningen i 1995 ved Skjern Å, Gjaldbæk 2 % lavere og ved Omme Å, Sønderskov Bro hele 15 % lavere end i 1994. Effekten af grundvandsmagasiner er derfor meget tydelig for Skjern Å, hvor der trods den væsentligt lavere nedbørsmængde i 1995 stort set var uændret afstrømning i forhold til det våde 1994. Dette viser at nedbøren ikke umiddelbart kan anvendes som et mål for estimeringen af årsafstrømningen de enkelte år i den nedre del af Skjern Å-systemet.

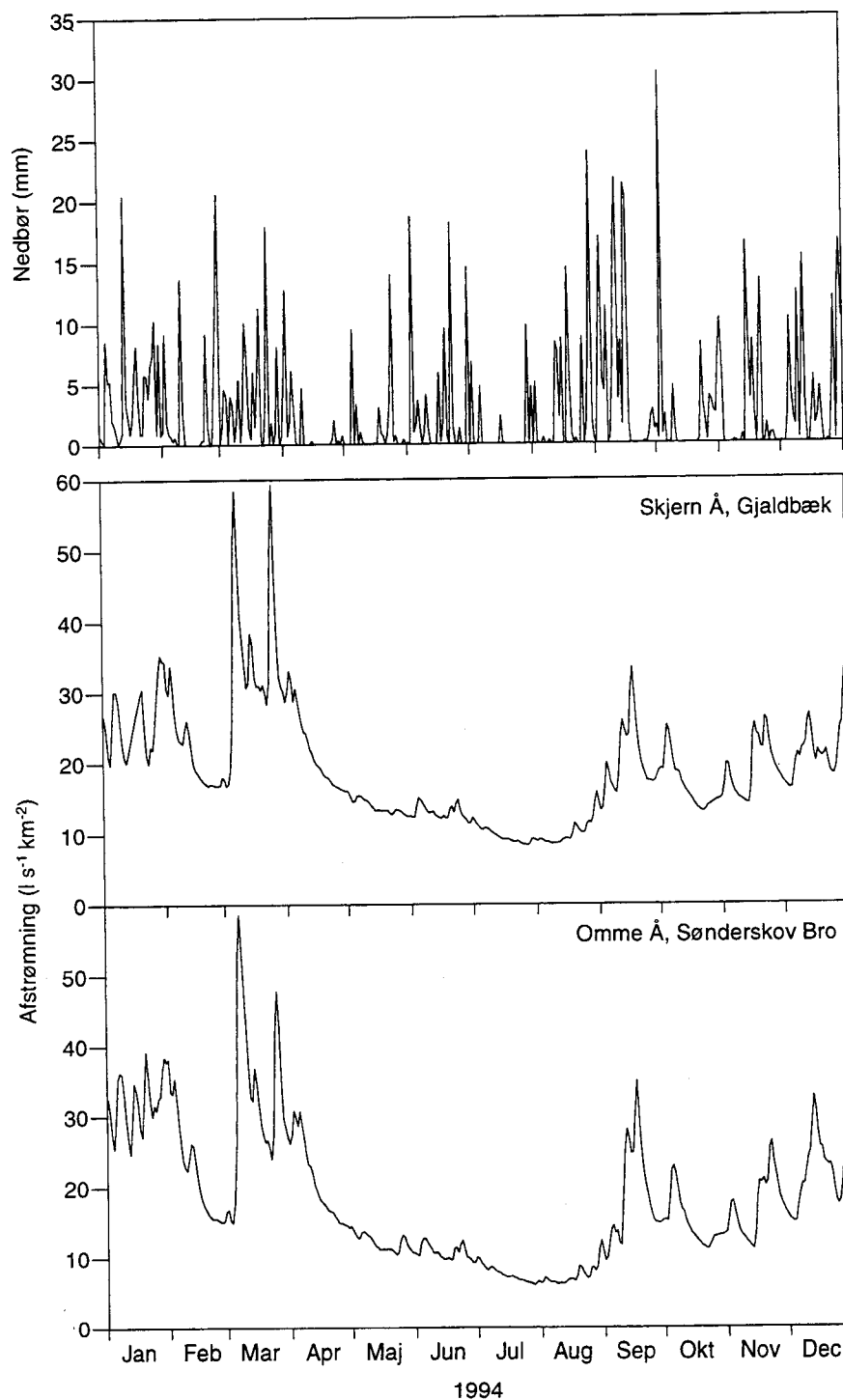
Grundvandstilstrømning påvirker afstrømningsmønstret markant i Skjern Å



Figur 4 Samplot af døgnmiddelvandføringen (l s^{-1}) ved Skjern Å, Gjaldbæk og Omme Å, Sønderskov Bro i 1994 og 1995.

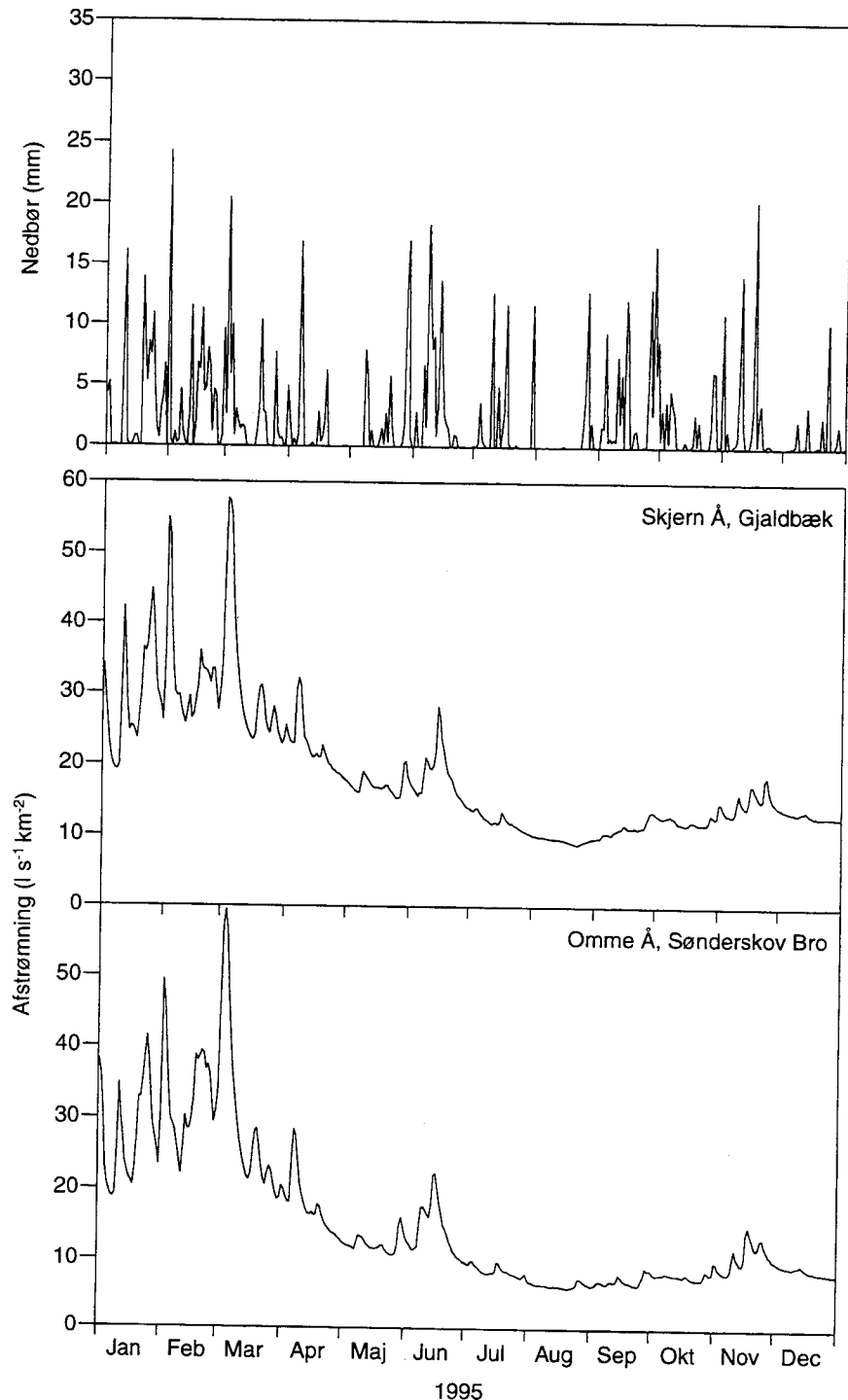
Tabel 6 Nedbør og afstrømning i Skjern Å, Ahlergårde og Gjaldbæk og ved Omme Å, Sønderskov Bro angivet for et normalår (1961-90 for nedbør og 1971-90 for afstrømning). Nedbør er angivet for et 40 * 40 km² grid, der dækker det meste af Skjern Å's opland (data fra Statens Planteavlsvforsøg, Afdeling for Arealdata). Årsafstrømningen kan omregnes til mm ved at gange med 31,5.

	Normal	1994	1995
Nedbør (mm):			
Skjern Å opland	892	1052	812
Afstrømning (l s⁻¹ km⁻²):			
Skjern Å, Ahlergårde	15,0	18,1	17,2
Skjern Å, Gjaldbæk		19,0	18,7
Omme Å, Sønderskov Bro		18,2	15,4



Figur 5 Samplot af døgnnedbør (mm) og afstrømningen (l s⁻¹ km⁻²) ved Skjern Å, Gjaldbæk og Omme Å, Sønderskov Bro i 1994. Døgnafstrømningen kan omregnes til mm ved at gange afstrømningsværdien med 8,65·10⁻².

Figur 6 Samplot af døgnnedbør (mm) og afstrømningen ($l s^{-1} km^{-2}$) ved Skjern Å, Gjaldbæk og Omme Å, Sønderskov Bro i 1995. Døgnafstrømningen kan omregnes til mm ved at gange afstrømningsværdien med $8,65 \cdot 10^{-2}$. Bemærk at nedbørsaksen er 25 mm, mod 35 mm i figur 3.



3.3 Sammenligning af vandføringen ved de kontinuerte vandløbsstationer

Ved høje afstrømninger er vandføringen ved Skjern Å, Gjaldbæk underestimeret

Da det er hensigten at beregne den samlede vandføring tilbage for før undersøgelsesperioden, er det oplagt at anvende stationen med den længste tidsserie som udgangspunkt for vandføringstidsserierne i de øvrige vandløb i den nedre del af Skjern Å-systemet. Vandføringerne ved stationer med kontinuerte vandføringstidsserier er sammenlignet for at undersøge om afstrømningsvariationerne er

ensartede ved disse stationer (figur 7-9). Der er en tendens til at Skjern Å, Ahlergårde ved høje døgnvandføringer har lavere vandføringer end f.eks. Skjern Å ved Kodbøl og Gjaldbæk (figur 7 og 8). Dette bekræftes, hvis de arealspecifikke døgnafstrømningsværdier (i $l s^{-1} km^{-2}$) ved Skjern Å, Kodbøl og Gjaldbæk plottes mod de tilsvarende værdier fra Skjern Å, Ahlergårde (figur 10 og 11). For værdier større end $35 l s^{-1} km^{-2}$ er der en iøjnefaldende afvigelse i de specifikke døgnafstrømningsværdier for Skjern Å, Ahlergårde, der afviger mere og mere fra forholdet ca. 1:1 i forhold til Skjern Å, Kodbøl og Gjaldbæk. Der er ingen rimelig grund til at antage, at den arealspecifikke døgnafstrømning skulle afvige systematisk fra forholdet ca. 1:1, selv om oversvømmelser kunne forklare, at der visse døgn vil være afvigelser. Dette ville fremgå som en spredning omkring 1:1 linien på figur 10 og 11. Dette tyder på, at der ved udarbejdelsen af Q-H relationen ved Skjern Å, Ahlergårde ikke tidligere er taget tilstrækkelig højde for oversvømmelser ved høje vandstande, og at vandføringen ved Ahlergårde derfor hidtil har været underestimeret ved høje afstrømningsbegivenheder. Da denne station har været anvendt som grundlag for en vurdering af afstrømningen fra Skjern Å-systemet er tidligere vurderinger på en maximal arealspecifik afstrømning på $220 m^3 s^{-1}$ ($100 l s^{-1} km^{-2}$) sandsynligvis undervurderet (Cowi-Consult, 1987).

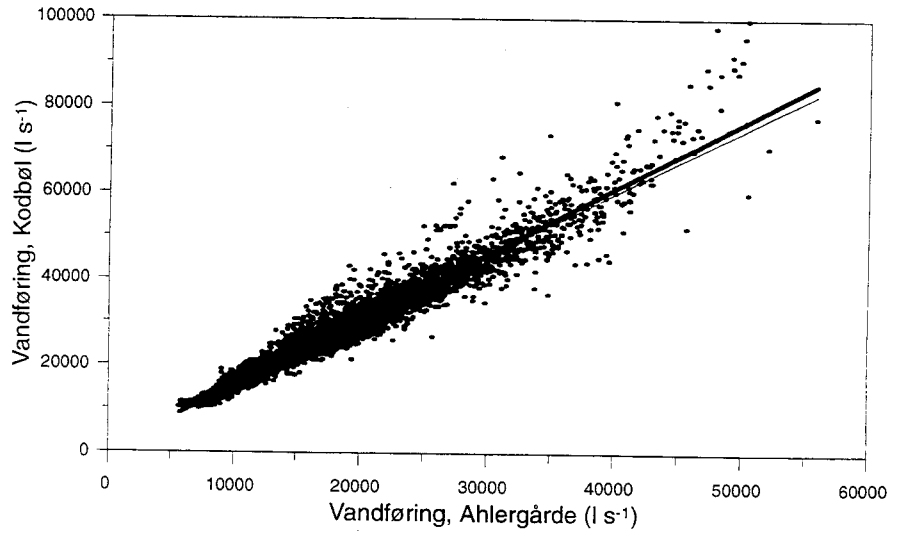
Korrektion af vandføringen $35 l s^{-1} km^{-2}$ ved Skjern Å, Ahlergårde

Der er derfor gennemført en korrektion af døgnmiddelvandføringer $>35 l s^{-1} km^{-2}$ for Skjern Å, Ahlergårde på hele tidsserien fra 1920 som beskevet i det følgende. Den arealspecifikke afstrømning ved Skjern Å, Kodbøl har den længste samtidige tidsserie med Skjern Å, Ahlergårde (1974-1995) og anvendes derfor som grundlag for korrektionen af døgnvandføringerne ved Skjern Å, Ahlergårde.

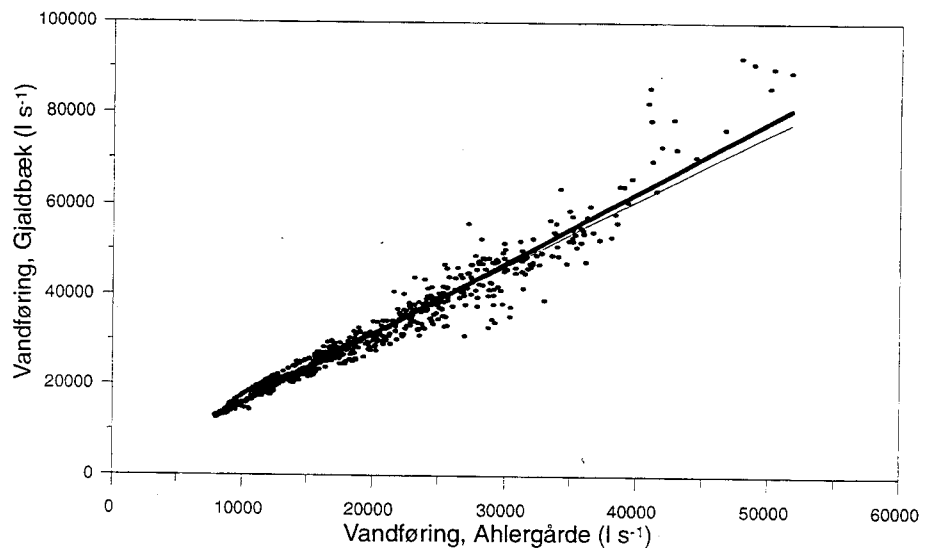
Forudsætningen for den foretagne korrektion

Forudsætningen for korrektionen er en antagelse af, at forholdet mellem den arealspecifikke døgnafstrømning ved Kodbøl og Ahlergårde i gennemsnit er ens uanset størrelsen af den arealspecifikke døgnafstrømning. Forhold et mellem de to stationer bestemmes for $Q_{Ahl} \leq 35 l s^{-1} km^{-2}$, hvor vandføringerne ved Ahlergårde antages at være beregnet korrekt. Endvidere findes hvad forholdet er for $Q_{Ahl} > 35 l s^{-1} km^{-2}$ på ukorrigerede data for at estimere den funktion, der skal anvendes for at korrigere døgnafstrømningsværdierne ved Ahlergårde, således at forholdet mellem den arealspecifikke afstrømning ved Kodbøl og Ahlergårde bliver ens ved alle niveauer for den specifikke afstrømning.

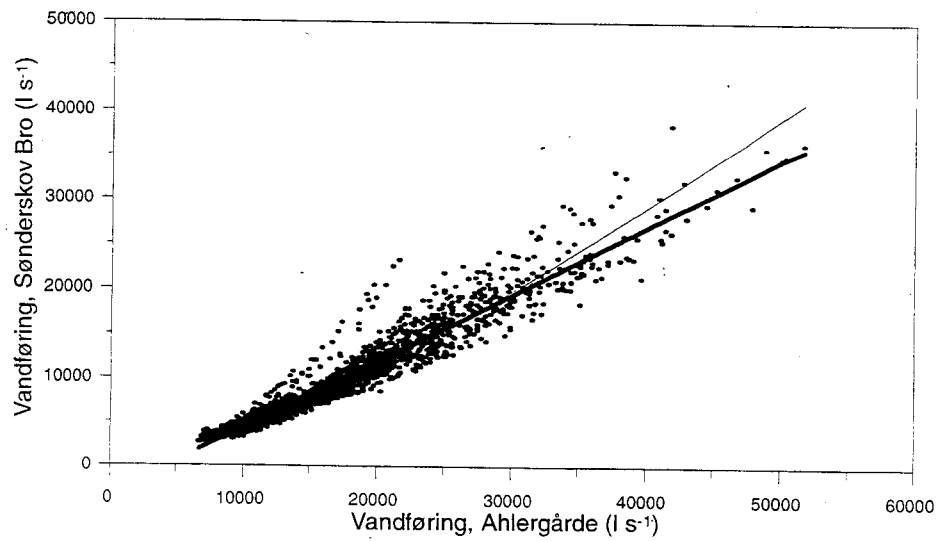
Figur 7 Lineær (fed streg) og eksponentiel (tynd streg) regression mellem døgnmiddelvandføringer i Skjern Å, Kodbøl og Skjern Å, Ahlergårde. Regressionslinierne er indtegnet.



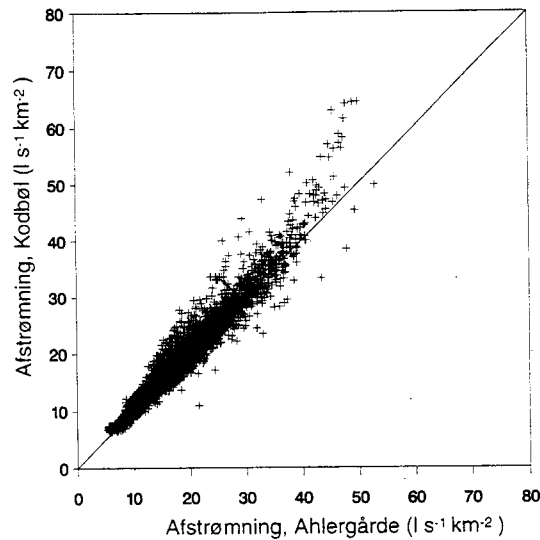
Figur 8 Lineær (fed streg) og eksponentiel (tynd streg) regression mellem døgnmiddelvandføringer i Skjern Å, Gjaldbæk og Skjern Å, Ahlergårde. Regressionslinierne er indtegnet.



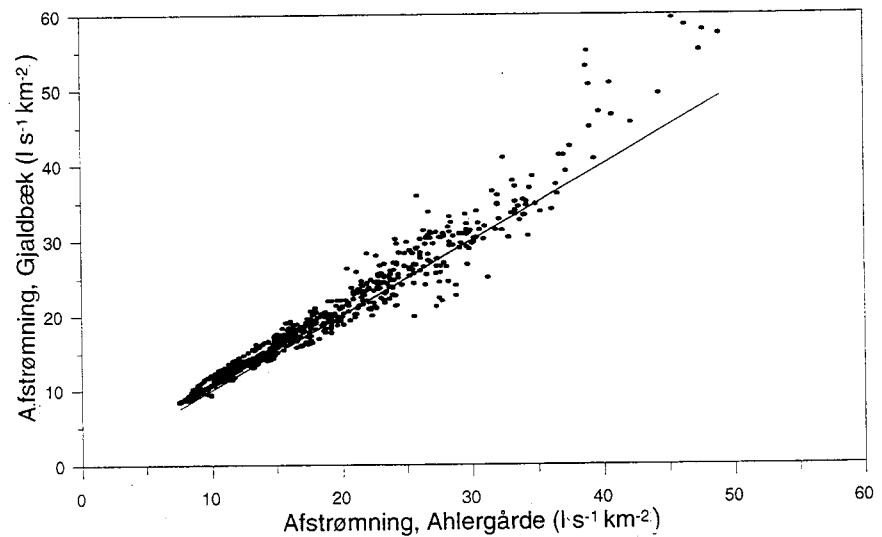
Figur 9 Lineær (fed streg) og eksponentiel (tynd streg) regression mellem døgnmiddelvandføringer i Omme Å, Sønderskov Bro og Skjern Å, Ahlergårde. Regressionslinierne er indtegnet.



Figur 10 Samplot af arealspecifikke døgnafstrømninger: Skjern Å, Kodbøl og Skjern Å, Ahlergårde. Lini- en $y=x$ er indtegnet, dvs. hvor den arealspecifikke afstrømning er ens ved de to stationer.



Figur 11 Samplot af areal- specifik døgnafstrømning i Skjern Å, Gjaldbæk og Skjern Å, Ahlergårde. Der er indtegnet linien $y = x$.



Skjern Å, Ahlergårde for $Q \leq 35 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$

Hvis $Q_{\text{Ahl}} \leq 35 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$ så estimerer modellen på ukorrigerede data:

$$Q_{\text{Kod}} = 0,48985 + 1,00009 \cdot Q_{\text{Ahl}} \quad R^2=0,947 \quad (3)$$

hvor Q_{Kod} er den målte arealspecifikke døgnafstrømning ($\text{l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$) ved Kodbøl og Q_{Ahl} tilsvarende den arealspecifikke afstrømning ved Ahlergårde.

Hvis $Q_{\text{Ahl}} > 35 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$ så estimerer modellen på ukorrigerede data:

$$Q_{\text{Kod}} = 92,309 - 3,7276 \cdot Q_{\text{Ahl}} + 0,0616 \cdot Q_{\text{Ahl}}^2 \quad R^2=0,615 \quad (4)$$

Skjern Å, Ahlergårde:
 $35 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2} < Q \leq 45 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$ og år ≥ 1974

Herved beregnes de korrigerede arealspecifikke døgnafstrømninger ved Ahlergårde ($Q_{\text{ahl}}(\text{kor.})$) for $Q_{\text{Ahl}} > 35$ og år ≥ 1974 som:

$$Q_{\text{Ahl}}(\text{kor.}) = Q_{\text{Ahl}} + 0,9999 \cdot Q_{\text{Kod}} - 30,7463 - 8,1169 \cdot ((13,895 - 4 \cdot (92,309 - Q_{\text{Kod}}) - 0,0616)^{1/2}) \\ = Q_{\text{ahl}} + 0,9991 \cdot Q_{\text{Kod}} - 8,1169 \cdot (0,2464 \cdot Q_{\text{Kod}} - 8,850)^{1/2} - 30,7463 \quad (5)$$

$$Q \leq 35 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$$

og for $Q_{\text{Ahl}} \leq 35 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$ er:

$$Q_{\text{Ahl}}(\text{kor.}) = Q_{\text{Ahl}} \quad (6)$$

Skjern Å, Ahlergårde:
 $35 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2} \leq Q \leq 45 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$ og år < 1974

For år < 1974, dvs. fra perioden hvor der kun er målt afstrømning ved Skjern Å, Ahlergårde giver modellen:

$$Q_{\text{Kod}} = 0,4127 + 1,0056 \cdot Q_{\text{Ahl}}(\text{kor.}) \quad R^2=0,958 \quad (7)$$

der for $35 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2} \leq Q_{\text{Ahl}} \leq 45 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$ og år < 1974 giver:

$$Q_{\text{Ahl}}(\text{kor.}) = -0,4127 + 0,9944 \cdot (92,309 - 3,7276 \cdot Q_{\text{Ahl}} + 0,0616 \cdot Q_{\text{Ahl}}^2) \\ \text{eller } Q_{\text{ahl}}(\text{kor.}) = 91,382 - 3,7067 \cdot Q_{\text{Ahl}} + 0,0613 \cdot Q_{\text{Ahl}}^2 \quad (8)$$

$$Q_{\text{ahl}} > 45 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$$

For $Q_{\text{Ahl}} > 45 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$ (uanset hvilket år)

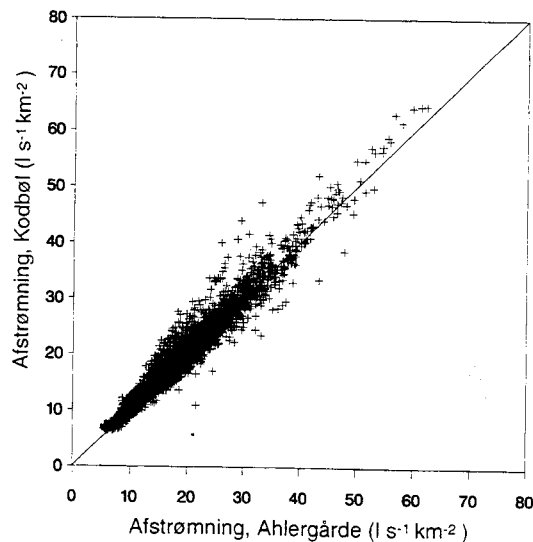
$$Q_{\text{ahl}}(\text{kor.}) = -0,41269 + 0,99443 \cdot (92,309 - 3,7276 \cdot 45 + 0,0616 \cdot 45^2 + (0,1232 \cdot 45 - 3,7276) \cdot (Q_{\text{Ahl}} - 45) \\ \text{eller } Q_{\text{Ahl}}(\text{kor.}) = 48,6197 + 1,8063 \cdot (Q_{\text{Ahl}} - 45) \quad (9)$$

Hvorfor sat en grænse også ved $Q > 45 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$?

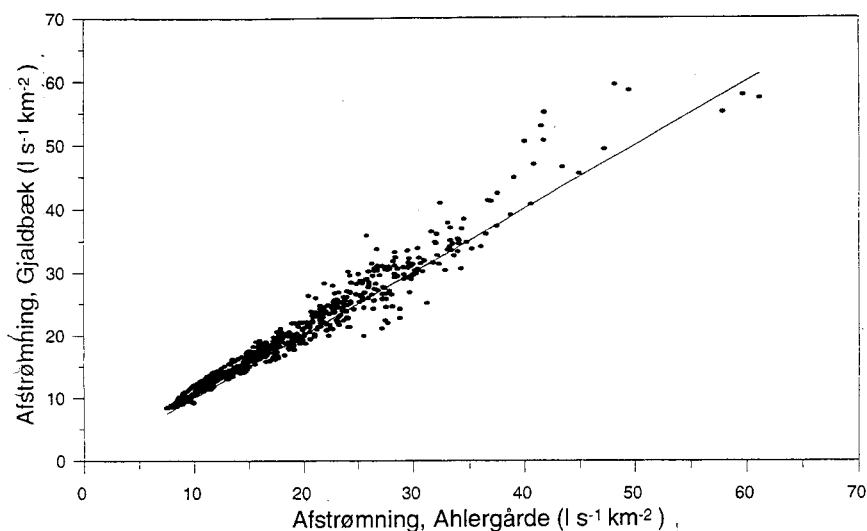
Grænsen ved $Q_{\text{Ahl}} > 45 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$ er sat, da der kun var meget få punkter at lave korrektionen på (dvs. mere usikkert korrektionsgrundlag) og andengradsligningen i modellen (ligning 4) derfor gav meget store og sammenlignet med aktuelle forhold tilsyneladende for store korrektioner ved de ekstremt store afstrømninger. Der er derfor indført et lineært korrektionsled for den del af afstrømning, der er $> 45 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$.

Den arealspecifikke døgnafstrømning ved Skjern Å, Kodbøl og Gjaldbæk er afbildet mod de korrigerede arealspecifikke døgnafstrømninger ved Ahlergårde i henholdsvis figur 12 og 13. Spredning omkring 1:1 linien ($y=x$) er tættere på en normalfordeling end ved de tilsvarende afbildinger med ukorrigeret specifik afstrømning ved Skjern Å, Ahlergårde (figur 10 og 11).

Figur 12 Samplot af arealspecifik døgnafstrømning i Skjern Å, Kodbøl mod korrigerede arealspecifikke afstrømninger i Skjern Å, Ahlergårde. Linien $y=x$ er indtegnet.



Figur 13 Som figur 12 for Skjern Å, Gjaldbæk mod Skjern Å, Ahlergårde



Regressionsanalyser mellem korrigerede vandføringer ved Skjern Å, Ahlergårde og de øvrige lange vandføringstidsserier

Der er foretaget en regressionsanalyse mellem de korrigerede døgnmiddelvandføringer ved Skjern Å, Ahlergårde og de tre stationer, hvorfra der også er kontinuerte serier af vandføringsmålinger (Skjern Å ved Kodbøl og ved Gjaldbæk og Omme Å, Sønderskov Bro) (figur 14, 15 og 16). I to tilfælde beskriver et lineært udtryk bedst sammenhængen mellem målestationerne og Ahlergårde, og i et tilfælde giver et eksponentielt udtryk den bedste sammenhæng. Det er disse udtryk, som er angivet i ligning 10 til 12, hvor Q_A er døgnmiddelvandføringen ved Ahlergårde:

Ligningen for bedste sammenhæng mellem døgnvandføringen ved to stationer

Skjern Å, Kodbøl:

$$Q = 654 + 1,49 Q_A \text{ (l s}^{-1}\text{)} \quad R^2 = 0,958 \quad P < 0,0001 \quad (10)$$

Skjern Å, Gjaldbæk:

$$Q = 2,62 \cdot Q_A \text{ (l s}^{-1}\text{)}^{0,948} \quad R^2 = 0,972 \quad P < 0,0001 \quad (11)$$

Omme Å, Sønderskov Bro:

$$Q = -2864 + 0,73 Q_A \text{ (l s}^{-1}\text{)} \quad R^2 = 0,935 \quad P < 0,0001 \quad (12)$$

For Omme Å, Sønderskov Bro har det eksponentielle udtryk en R^2 på 0,954, men det lineære udtryk beskriver bedst sammenhængen ved de høje vandføringer og er derfor anvendt.

Endelig er der gennemført en regressionsanalyse mellem døgnvandføringer i Skjern Å, Kodbøl (Q_K) og Skjern Å, Gjaldbæk, hvor en eksponentiel sammen bedst beskriver sammenhængen (ligning 13):

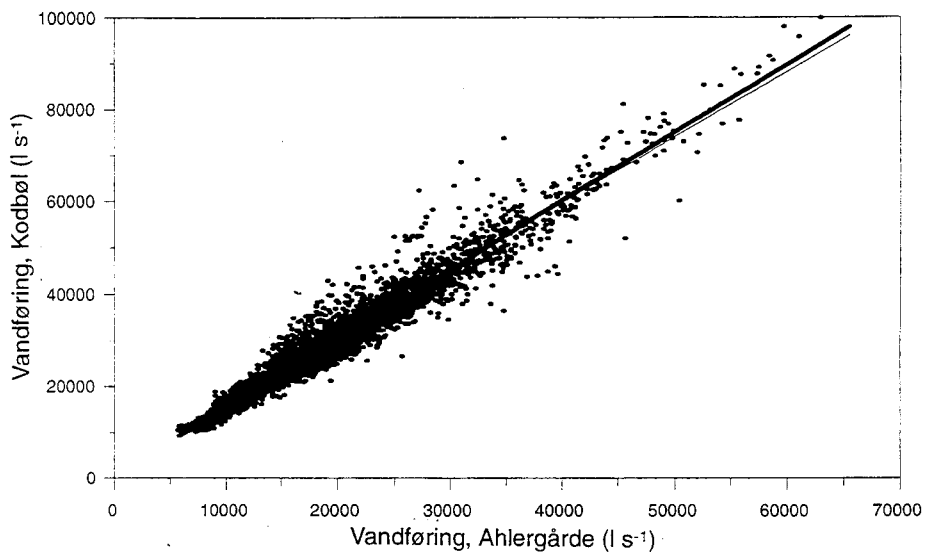
Behov for et korrektionsled når der tilbagetransformeres fra et eksponentielt udtryk

Skjern Å, Gjaldbæk:

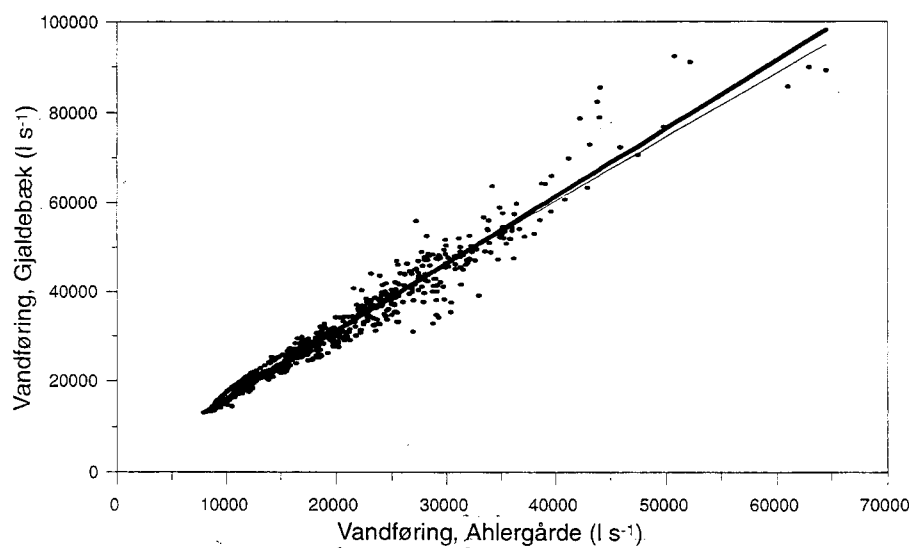
$$Q = 1,626 \cdot Q_K^{0,957} \text{ (l s}^{-1}\text{)} \quad R^2 = 0,968 \quad P < 0,0001 \quad (13)$$

Når der tilbagetransformeres fra et logaritmisk (herunder eksponentielt) udtryk, som i forbindelse med ligning 11 og 13, opstår der en statistisk fejl, der vil underestimere vandføringen. Dette korrigeres der for ved at gange faktoren $\text{Exp}(0,5 s^2)$ på vandføringen, hvor s er standardafvigelsen. Dette er sket i ligningerne 11 og 13. Tilsvarende korrektioner er foretaget i kapitel 4.

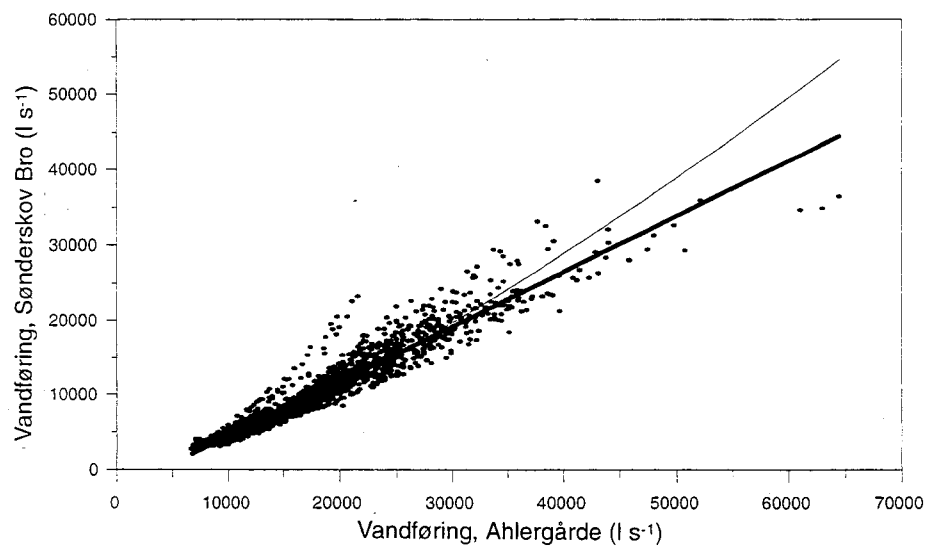
Figur 14 Lineær (fed streg) og eksponentiel regression (tynd streg) mellem døgnmiddelvandføringen i Skjern Å, Kodbøl og korrigerede døgnmiddelvandføringer i Skjern Å, Ahlergårde. Regressionslinierne er indtegnet.



Figur 15 Som figur 14 for Skjern Å, Gjaldebæk og Skjern Å, Ahlergårde.



Figur 16 Som figur 14 for Omme Å, Sønderskov Bro og Skjern Å, Ahlergårde.



3.4 Q-Q relationer

Q-Q relationer for type 2 stationerne

For type 2 stationerne er døgnmiddelvandføringer beregnet ved at lave Q-Q relationer til stationer med kontinuere vandføringstidsserier, og da det er hensigten at beregne den samlede vandføring tilbage før undersøgelsesperioden har det været oplagt at anvende stationen med den længste tidsserie som udgangspunkt for alle tidsserier, dvs. Skjern Å, Ahlergårde, hvor den korrigerede tidsserie er anvendt (se afsnit 3.3).

Q-Q relationer med Skjern Å, Ahlergårde

Q-Q relationer er etableret for målestationerne i Tarm Bæk og Tarm Møllebæk (figur 17), Ganer Å og Kirke Å (figur 18) og Søndre Parallelkanal (figur 19). Der er lavet såvel lineær som eksponentiel regression, men på figurerne er vist den regression, der gav den højeste korrelationskoefficient. Korrelationskoefficienterne er angivet i tabel 6. Q-Q relationerne er lavet ud fra de målte vandføringer i de fem vandløb.

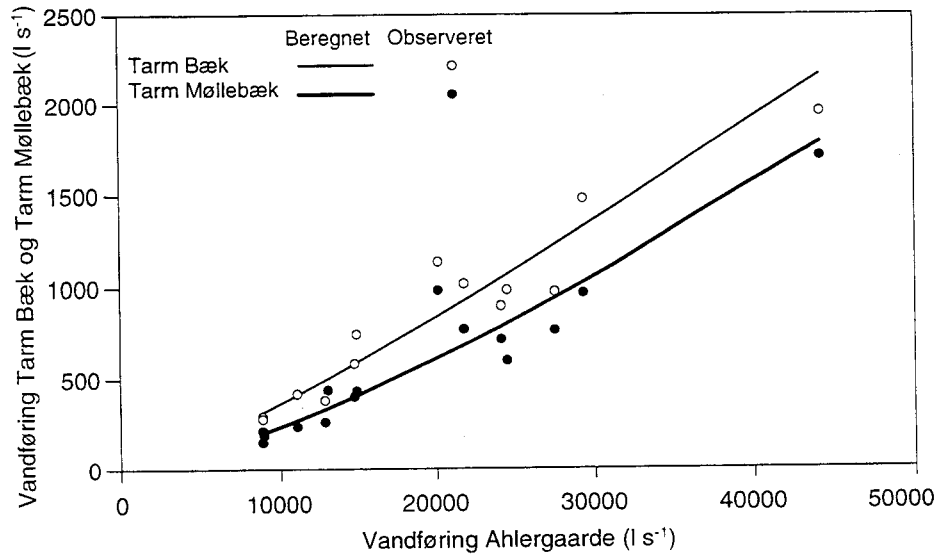
Q-Q relationer med andre mindre vandløb

Der er endvidere lavet Q-Q regressionsanalyse med andre, mindre vandløb i Skjern Å-systemet. Der er valgt stationer med oplandsarealer, der er sammenlignelige med type 2 stationerne, og som samtidig er vandløbsstationer under Vandmiljøplanens Overvågningsprogram, således at DMU havde fået indberettet disse data fra Ringkjøbing Amtskommune. Korrelationskoefficienterne fra disse Q-Q sammenhænge (tabel 7) er som hovedregel ikke højere end dem, der opnås ved at danne Q-Q sammenhænge med Skjern Å, Ahlergårde, og derfor er Q-Q relationerne fra figur 17, 18 og 19 anvendt. Formeludtrykkene herfor er angivet i ligningerne 14-18.

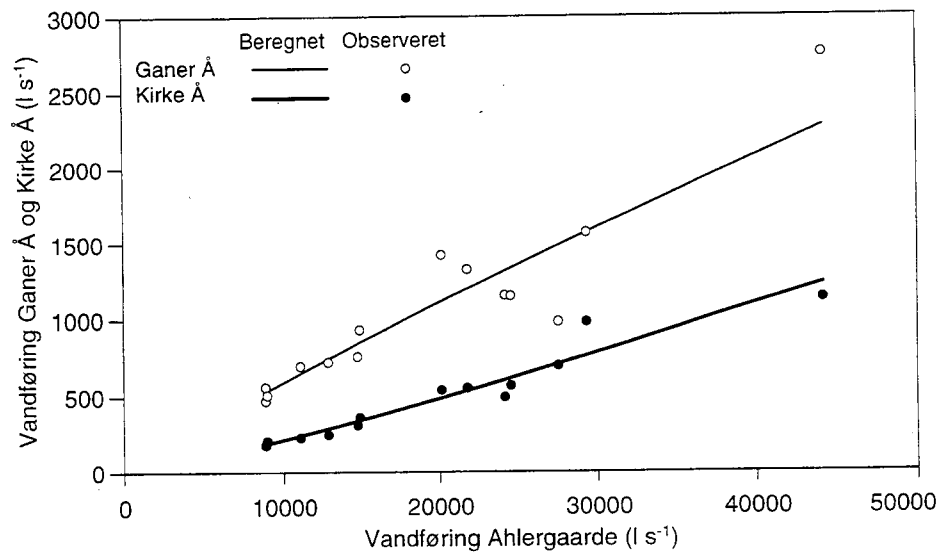
Tabel 7 Korrelationskoefficienter for Q-Q sammenhænge, hvor målte vandføringer i type 2 vandløbene er korreleret med Tim Å, Fjerderholt Å og Simmelbæk med henholdsvis lineær og eksponentiel regression. Endvidere er resultatet fra regressionsanalyserne i figur 17-19 angivet. Med fed er angivet hvilke sammenhænge, der er valgt i ligninger 14-18.

Korrelationskoefficient R ²	Tarm Bæk, Omfartsvej	Tarm Møllebæk, Kyvling Bro	Ganer Å, Amager Bro	Kirke Å, Kirkestien	Søndre Parallelkanal, Lønborg Bro
Tim Å:					
Lineær	0,943	0,871	0,931	0,854	ej lavet
Eksponentiel	0,962	0,837	0,958	0,929	ej lavet
Fjerderholt Å:					
Lineær	0,791	0,767	0,691	0,851	ej lavet
Eksponentiel	0,870	0,848	0,788	0,882	ej lavet
Simmelbæk:					
Lineær	0,744	0,732	0,631	0,881	ej lavet
Eksponentiel	0,864	0,879	0,799	0,881	ej lavet
Skjern Å, Ahlergårde					
Lineær	0,915	0,888	0,840	0,940	0,927
Eksponentiel	0,925	0,915	0,885	0,964	0,895

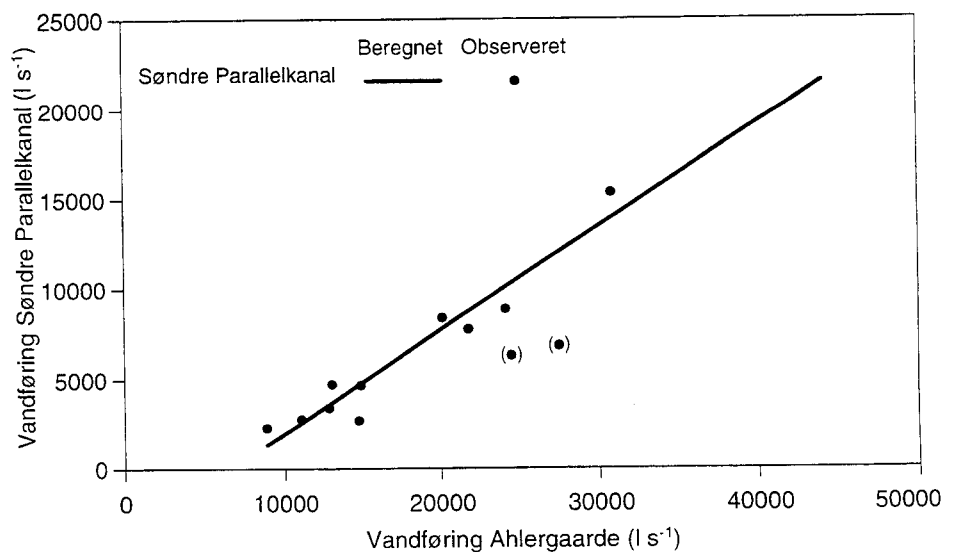
Figur 17 Regressionsanalyse af målte vandføringer i 1994 og 1995 i Tarm Bæk, Omfartsvejen og Tarm Møllebæk, Kyvling Bro mod de tilhørende vandføringer i Skjern, Ahlergårde. De målte værdier er angivet med symboler, den beregnede Q-Q sammenhæng (eksponentiel regression) med fuldt optrukken kurve.



Figur 18 Regressionsanalyse af målte vandføringer i 1994 og 1995 i Ganer Å, Amager Bro og Kirke Å, Kirkestien mod de tilhørende vandføringer i Skjern, Ahlergårde. De målte værdier er angivet med symboler, den beregnede Q-Q sammenhæng (eksponentiel regression) med fuldt optrukken kurve.



Figur 19 Regressionsanalyse af målte vandføringer i 1994 og 1995 i Søndre Parallelkanal, Lønborg Bro mod de tilhørende vandføringer i Skjern, Ahlergårde. De målte værdier er angivet med symboler, den beregnede Q-Q sammenhæng (lineær regression) med fuldt optrukken kurve. 2 punkter i forbindelse med kraftig vestlig kuling, som medførte stuvning og kraftig bølgegang i Søndre Parallelkanal er ikke medtaget i regressionsanalysen, men vist på figuren (med cirkler med parentes).



De anvendte Q-Q relationer for de mindre vandløb

Q-Q relationerne (Q_A er døgnvandføringen ved Skjern Å, Ahlergårde) for alle type 2 vandløb bliver:

$$\begin{aligned} \text{Tarm Bæk, Omfartsvej:} & Q = 0,0057 \cdot Q_A^{1,202} \text{ (l s}^{-1}\text{)} & (14) \\ \text{Tarm Møllebæk, Kyvling Bro:} & Q = 0,0008 \cdot Q_A^{1,365} \text{ (l s}^{-1}\text{)} & (15) \\ \text{Ganer Å, Amager Bro:} & Q = 0,1384 \cdot Q_A^{0,9076} \text{ (l s}^{-1}\text{)} & (16) \\ \text{Kirke Å, Kirkestien:} & Q = 0,0041 \cdot Q_A^{1,1795} \text{ (l s}^{-1}\text{)} & (17) \\ \text{Sdr. Parallelkanal, Lønborg Bro:} & Q = -3780 + 0,5751 \cdot Q_A \text{ (l s}^{-1}\text{)} & (18) \end{aligned}$$

Alle ligninger har $P < 0,0001$.

Beregning af den ønskede afstrømning for Skjern Å-systemet

På baggrund af disse Q-Q relationer kan den samlede vandføring og afstrømning fra den nedre del af Skjern Å-systemet beregnes (tabel 8). Skjern Å, Gjaldbæk og Omme Å, Sønderskov Bro, som tilsammen har et oplandsareal på 2170 km² ud af et samlet oplandsareal for den nedre del af Skjern Å på ca. 2470 km² (87%) havde både i 1994 og 1995 85% af den samlede vandføring.

Tabel 8 Døgnmiddelvandføringen og afstrømningen for de syv stationer i undersøgelsen samt den samlede vandføring og afstrømning fra den nedre af Skjern Å-systemet.

Lokalitet	Vandføring 1994 l s ⁻¹	Vandføring 1995 l s ⁻¹	Vandføring 1994 l s ⁻¹ km ²	Vandføring 1995 l s ⁻¹ km ²
Skjern Å, Gjaldbæk	29595	29131	19,0	18,7
Omme Å, Sønderskov Bro	11146	9411	18,2	15,4
Tarm Bæk, Omfartsvej	809	768	18,0	17,1
Tarm Møllebæk, Gyvling Bro	596	565	17,0	16,1
Ganer Å, Amager Bro	1058	1009	13,3	12,6
Kirke Å, Kirkestien	467	443	10,6	10,1
Sdr. Parallelkanal, Lønborg Bro	7223	6690	28,9	26,8
Samlet vandføring/afstrømning*	47964	45232	19,2	18,1

* Sum af vandføringer ved Skjern Å, Gjaldbæk; Omme Å, Sønderskov Bro og Søndre Parallelkanal, Lønborg Bro.

3.5 Samlet afstrømning for nedre del af Skjern Å-systemet

Cowi-Consults estimering af den samlede afstrømning for Skjern Å-systemet

I tabel 9 er angivet de beregnede afstrømninger som Cowi-Consult (1987) beregnede for Skjern Å ved udløbet i Rinkjøbing Fjord og fra Søndre Parallelkanal. Der er tale om afstrømning fra et lidt større areal end der er målt på i den aktuelle undersøgelse. Både 1994 og 1995 har været afstrømningsrige år, jvf. tabel 8.

DMU's estimering af den samlede afstrømning fra Skjern Å-systemet.

På baggrund af de opstillede Q-Q relationer (afsnit 3.3 og 3.4) og den korrigerede døgnmiddelvandføringstidsserie for Skjern Å, Ahlergårde er der beregnet afstrømning til den nedre del af Skjern Å-systemet efter samme princip som angivet i tabel 8. I bilag 1 findes

De nye maksimum afstrømninger er højere end tidligere antaget

en tabel med de beregnede årlige minimum, maximum og døgnmiddelvandføringer (i l s⁻¹) for perioden 1920-1995. Bemærk at der i begyndelsen af tidsserien er en del år som ikke har en komplet tidsserie. De gennemførte beregninger giver højere skønnede maksimumvandføringer end angivet i Cowi-Consult (1987) (sammenlign tabel 9 med tabel 10). Minimum- og middelfaststrømningen er næsten identisk med Cowi-Consults (1987).

Tabel 9 Cowi-Consult's (1987) estimer af afstrømningen ved udløbet af Skjern Å og Søndre Parallekanal i Ringkjøbing Fjord. Minimum og maksimums værdier er døgnestimer.

Afstrømning	Skjern Å udløb (2200 km ²)	Søndre Parallekanal udløb (290 km ²)	Skjern Å-systemet udløb (2490 km ²)
Middel:			
m ³ s ⁻¹	35	5	40
l s ⁻¹ km ⁻²	15,9	17,2	16,1
Minimal:			
m ³ s ⁻¹	5	1	6
l s ⁻¹ km ⁻²	2,3	3,4	2,4
Maksimal:			
m ³ s ⁻¹	220	33*	253*
l s ⁻¹ km ⁻²	100	114	102

* i forbindelse med overløb fra Skjern Å og tilløb fra forsinkelsesbassiner skal der regnes med en tillægsvandføring på 25 m³s⁻¹.

Tabel 10 DMU-beregnet døgnmiddel, døgnmiddelminimum og døgnmiddelmaksimumafstrømning for den nedre del af Skjern Å-systemet baseret på korrigerede værdier for afstrømningen ved Skjern Å, Ahlergårde.

Afstrømning	Skjern Å-systemet (2470 km ²) m ³ s ⁻¹	Skjern Å-systemet (2470 km ²) l s ⁻¹ km ⁻²
Middel (1920-1995)	35,6	14,4
Middel (1971-90)	38,7	15,7
Minimum (1920-1995)	5,9	2,4
Maksimum (1920-1995)	319	129

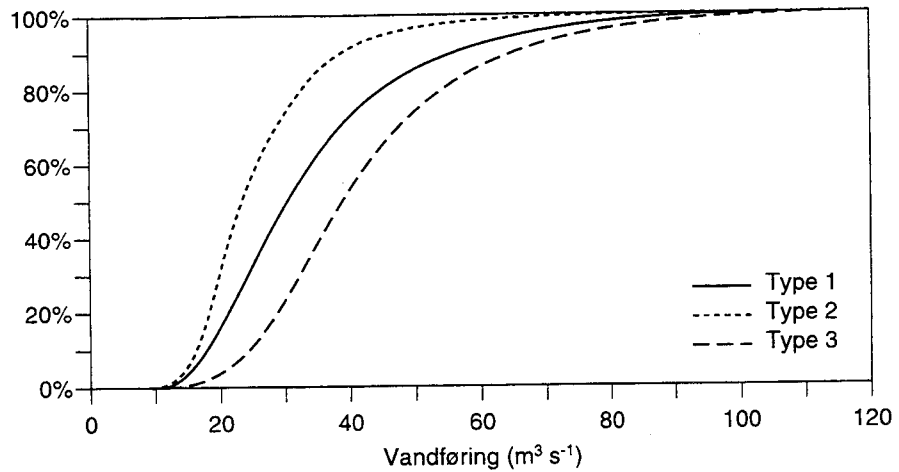
3.6 Varighedskurver

Transporten af suspenderet stof og fosfor vil typisk være høj ved store vandføringer, da koncentrationerne også ofte er høje ved store vandføringer. Det er derfor væsentligt at kende fordelingen af vandføringerne i måleperioden og at sammenligne disse med de tilsvarende for en normalperiode.

Varighedskurver for døgnvandføringerne

I figur 20 er varighedskurverne (hvor ofte et givent vandføringsniveau optræder) for døgnafstrømningen i den nedre del af Skjern Å-systemet angivet for hele tidsserien fra 1920-1995 og opdelt på sommer- og vinterhalvår, dog således at de allerstørste og meget sjældent forekomne afstrømninger er afskåret i figuren af hensynt til overskueligheden.

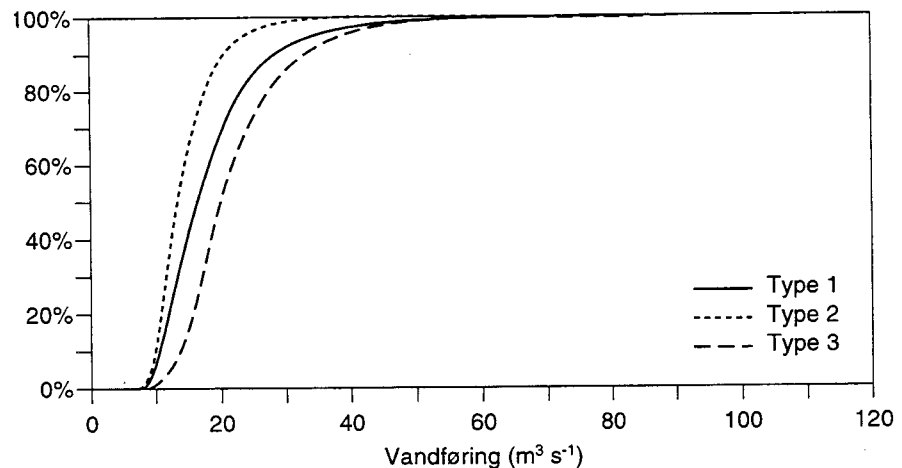
Figur 20 Varighedskurve for døgnmiddelvandføringerne for den nedre del af Skjern Å-systemet for tidsserien 1920-1995. Den fuldt optrukne kurve (type 1) er varighedskurven for alle målinger, den stiplede kurve til venstre (type 2) er for perioden april til og med september (sommerhalvåret) og den stiplede kurve til højre (type 3) er for perioden januar til og med marts og oktober til og med december (vinterhalvåret).



Varighedskurve for Skjern Å, Ahlergårde

Varighedskurven (frekvensfordelingen) for døgnmiddelvandføringerne for hele den korrigerede tidsserie (1920-1995) ved Skjern Å, Ahlergårde viser en pænt glat kurve, idet datagrundlaget er meget stort (figur 21). Vandføringerne er ca. dobbelt så store i vinterhalvåret (oktober til marts) som i sommerhalvåret (april til september).

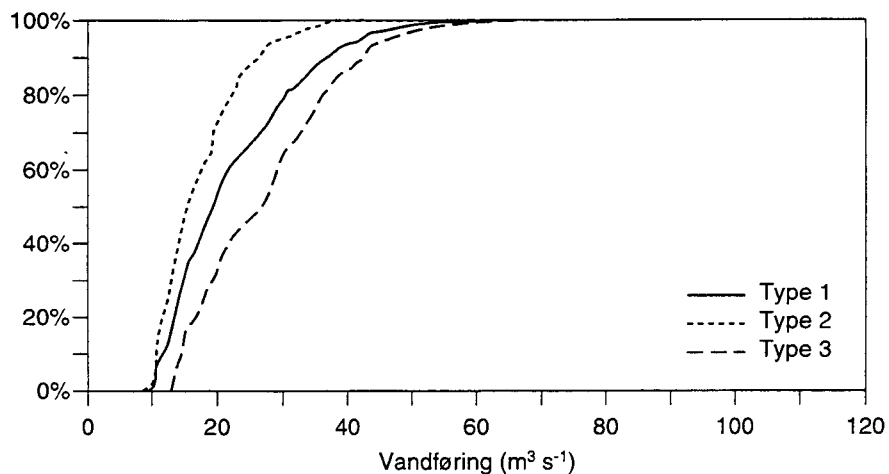
Figur 21 Varighedskurve for de korrigerede døgnvandføringer ved Skjern Å, Ahlergårde for hele tidsserien 1920-1990. Se i øvrigt tekst til figur 20.



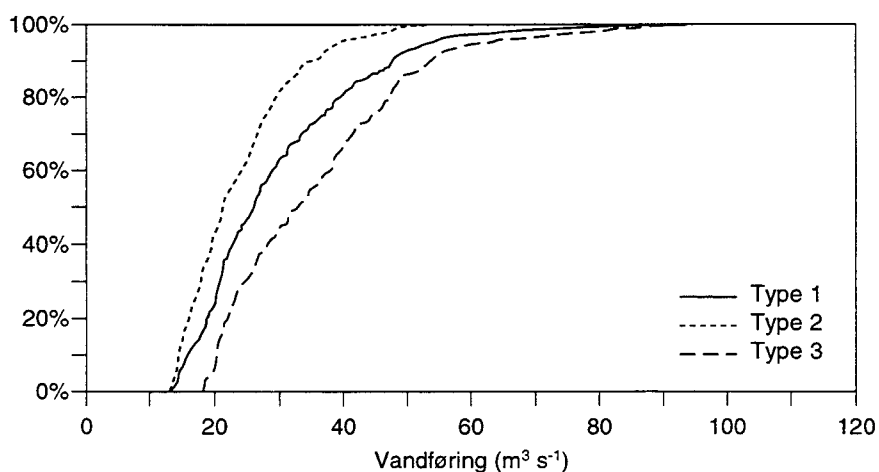
Varighedskurver for Skjern Å og Omme Å i 1994 og 1995

Varighedskurver for 1994 og 1995 for Skjern Å, Ahlergårde og Gjaldbæk samt for Omme Å, Sønderskov Bro er trukket mod højre specielt i vinterhalvåret (oktober - marts) i forhold til en normalsituation, idet der forekommer ekstraordinært mange høje vandføringer det år (figur 22, 23 og 24). Der er derfor god grund til at antage at stoftransporten har været højere i måleperioden i forhold til en normalsituation.

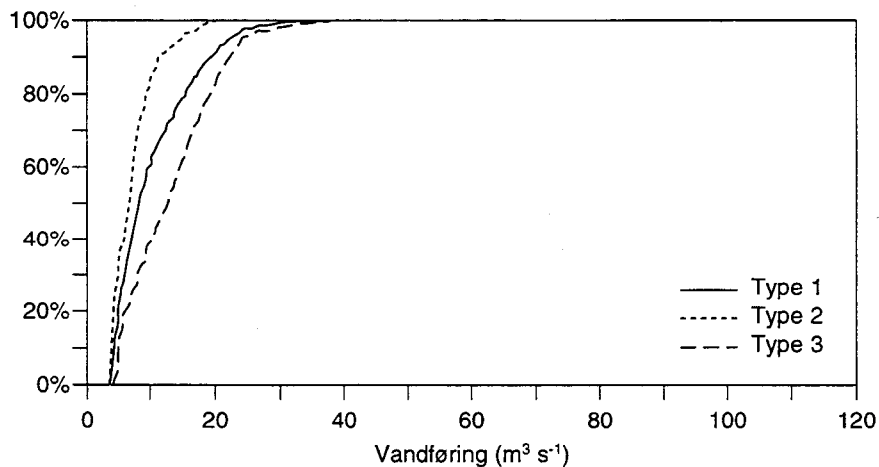
Figur 22 Varighedskurve for de korrigerede døgnvandføringer ved Skjern Å, Ahlergårde for perioden 1994-1995. Se i øvrigt tekst til figur 20.



Figur 23 Varighedskurve for døgnvandføringerne ved Skjern Å, Gjaldbæk for perioden 1994-1995. Se i øvrigt tekst til figur 20.



Figur 24 Varighedskurve for døgnvandføringerne ved Omme Å, Sønderskov Bro i perioden 1994 - 1995. Se i øvrigt tekst til figur 20.

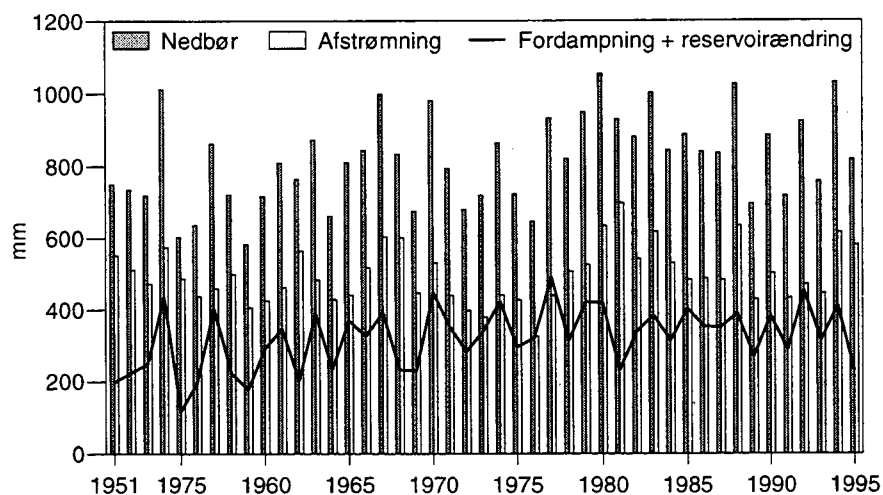


3.7 Sammenhæng mellem nedbør og afstrømning og udvikling i ekstremer

Vurdering af nedbør minus afstrømning

Ved at fratække årsafstrømningen (i mm) ved Skjern Å, Ahlergårde fra nedbøren (korrigeret til jordoverfladen) målt ved Borris for perioden 1951-1995 (der er ikke målt nedbør ved Borris før 1951) erkendes at der i 1995 var rekord stor tærring på grundvandsmagasinerne (figur 25).

Figur 25 Korrigerede årsafstrømning (i mm) ved Skjern Å, Ahlergårde og årsnedbøren (korrigeret til jordoverfladen) ved Borris (data fra Statens Planteavl-forsøg, Afdeling for Areal-data). Med fuldt optrukken linie er angivet nedbør - afstrømning som svarer til fordampning plus reservoirændringer.



Statistisk analyse på korrigeret vandføringsserie ved Skjern Å, Ahlergårde med Kendall's tau-test

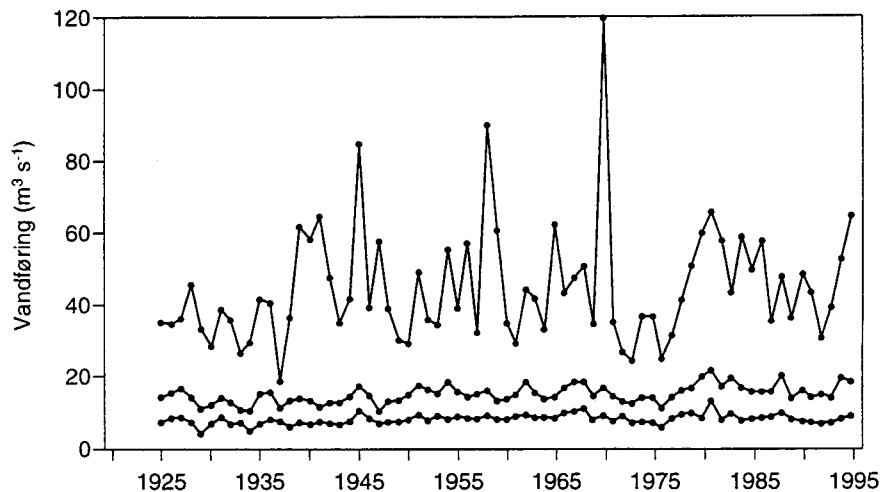
Der er foretaget en statistisk analyse af den korrigerede vandførings-tidsserie i perioden 1925-1995 for Skjern Å, Ahlergårde (perioden 1920-1924 udeladt grundet for mange huller i tidsserien). Tidsserien over årsminimum-, årsmaximum- og årsmiddel døgnmiddelvandføringer er vist i figur 26 og for den nedre del af Skjern Å-systemet i figur 27. Der er foretaget en ikke-parametrisk test, Kendall's tau (Kendall, 1938) for udviklingstendenser på årsmiddel, årsminimums og årsmaksimums døgnmiddelvandføringer ved Skjern Å, Ahlergårde. Kendall's tau er en ikke parametrisk test for monotone udviklingstendenser. Testen tager højde for autokorrelerede værdier og eventuelle manglende værdier i den analyserede tidsserie. Testen fortæller kun om der er en statistisk signifikant udviklingstendens, ikke hvor stor den er.

Der er analyseret for udviklingstendenser i hele perioden og før og efter udretningen af Skjern Å, der blev gennemført i perioden 1965-68, og der kan drages følgende konklusioner:

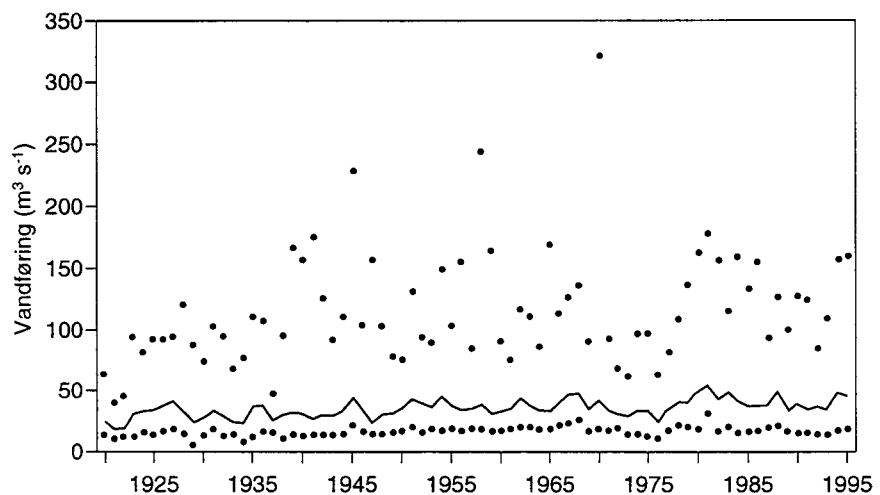
Årsminimumvandføring

Årsminimumvandføringerne er stigende i perioden 1925-1968. Efter 1968 er der et konstant niveau, eventuelt en svagt faldende udviklingstendens. Analyseres hele tidsserien fås en stigning, der er signifikant på 5%-niveau ($z=2,5$; $P=1,2\%$). Tidsserien 1925-1964 af årsminimumvandføringer er signifikant stigende ($z=3,8$; $P < 0,1\%$), hvorimod der i tidsserien 1965 - 1995 er en tendens til faldende minimumvandføringer ($z=1,9$; $P=5,3\%$).

Figur 26 Årsminimum-, årsmaksimum- og årsmiddelvandføringer for korrigerede døgnmiddelvandføringer ved Skjern Å, Ahlergårde



Figur 27 Årsminimum-, årsmaksimum- og årsmiddelvandføringer for korrigerede døgnmiddelvandføringer for den nedre del af Skjern Å-systemet.



Årsmaksimumvandføring

Hele tidsserien viser ikke klare udviklingstendenser og det samme gælder de to korte perioder (1925-1964 og 1965-1995).

Årsmiddelvandføring

Der er tilsyneladende stigende årsmiddeldøgnvandføringer igennem stort set hele perioden. Lave årsmiddelvandføringer er målt i de tørre år omkring 1975 og faldende vandføringer ses i perioden 1980-1995. Analyseres hele tidsserien findes en signifikant stigende udvikling i årsmiddelvandføringer ($z=3,8$; $P < 0,1\%$). Tidsserien 1925-1964 udviser stigende årsmiddelvandføringer ($z=2,1$; $P = 3\%$), hvorimod tidsserien 1965-1995 ikke har signifikante udviklingstendenser.

Nedbør - afstrømning

For at vurdere om der er sket en ændring i samvariationen mellem nedbør og afstrømning ved Skjern Å, Ahlergårde er der analyseret på en nedbørstidsserie med døgnnedbør fra Borris (data fra Statens Planteavlsvforsøg, Afdeling for Arealdata) siden 1951 mod tilhørende korrigerede døgnmiddelvandføringer ved Ahlergårde. Med en multivariat tidsserieanalyse er det undersøgt med hvilken forsinkelse afstrømningen reagerer på nedbør i oplandet. Analysen er foretaget for perioden fra 1951-1964 og perioden 1965-1994.

Responstiden på nedbør synes faldet i et døgn efter hovedafvoandingen

Afstrømningen autokorrelerer med nedbør på et 95% signifikansniveau indenfor et interval af over en måned, da det i analysen ikke er muligt at adskille effekten af nedbør fra grundvandsafstrømningen. Autokorrelationsfaktoren (ACF) er dog markant størst (op til 0,30) dag 2, 3 og 4 efter nedbørsbegivenheder. For perioden før udretningen af Skjern Å findes maksimums værdien for AFC ved 2 dages responstid på nedbøren, for perioden efter restaureringen findes maksimumsværdien ved 1 dages responstid.

Årsagen til den lavere responstid

Der synes altså at være indicier for at responstiden er faldet med ca. en dag ved Skjern Å, Ahlergårde efter udretningen. Denne udretning har været lokaliseret nedstrøms Ahlergårde og burde derfor kun i mindre grad have påvirket afstrømningsforholdene ved Ahlergårde. Der har dog i 1950'erne og 1960'erne været en generel, kraftig dræningsaktivitet også opstrøms Skjern Å, Ahlergårde, en stadig fjernelse af vådområder langs vandløbene (*Svendsen og Hansen, 1997*), tilkobling af byspildevand herunder vand fra befæstede arealer ol., som kan forklare en hurtigere respons på nedbør. Der kan samtidig være en hyppigere forekomst af begivenheder med intensiv nedbør i perioder med vandmættede forhold (vinterhalvåret) ligesom nedsat oversvømmeshyppighed har nedsat vandløbssystemets bufferkapacitet. Endelig er vandafledningen nedstrøms Skjern Å, Ahlergårde blevet kraftigt forøget grundet afvoandingen i 1960'erne, således at der efter midten af 1960'erne ikke synes at være væsentlige strømningpåvirkninger herfra ved Skjern Å, Ahlergårde.

3.8 Hydrauliske forhold

Hvad bestemmer den hydrauliske modstand

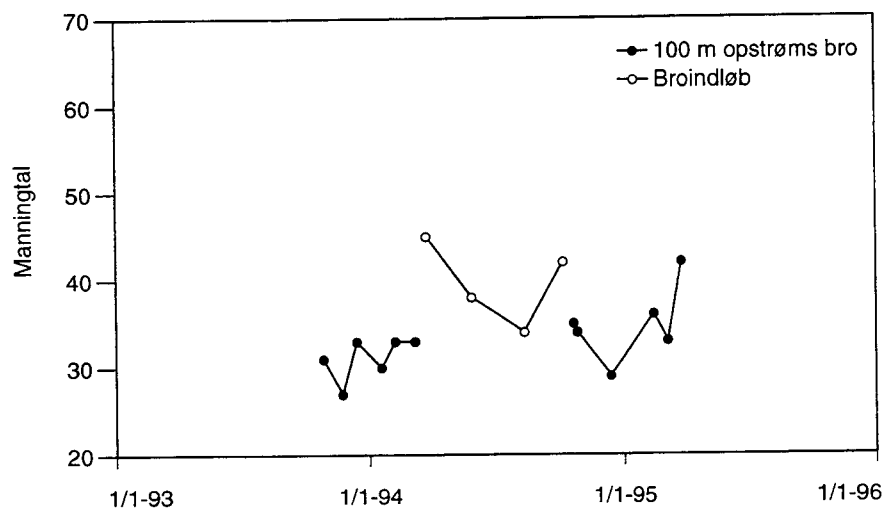
Ved dimensionering af en vandløbsrestaurering benyttes hydrodynamiske modeller, der bl.a. kan beregne vandføringen i et vandløb givet dets fysiske karakteristika. En vigtig parameter er her vandløbets hydrauliske modstand eller strømningmodstanden. Strømningmodstanden er først og fremmest bestemt af vandløbsbundens beskaffenhed, dvs. kornstørrelsen af bundsedimentet, højde og længde af eventuelle sandbanker og omfanget af bundvegetation. Der er endvidere indflydelse fra brinker og f.eks. bropiller, bygværk mv. Størrelsen af sandbankerne varierer med sedimenttransporten og dermed med vandføringen. Vegetationens udbredelse er afhængig af lysforholdene, vandets temperatur, hydrauliske forhold, bundtransport, konkurrence mellem arterne, grødeskæring og barrierer for spredning af arterne. Vandløbets hydrauliske modstand varierer derfor både med vandføringen og med tiden.

Den hydrauliske modstand beskrives ofte ved Manningtallet, M ($m^{1/3} s^{-1}$), som kan beregnes ud fra Manning-formlen, som angivet i ligning 2. Manning-tallet er reciprokken til modstandstallet u , dvs. $M = 1/u$. Derfor betyder et stort Manningtal en lille modstand mod strømning i vandløbet.

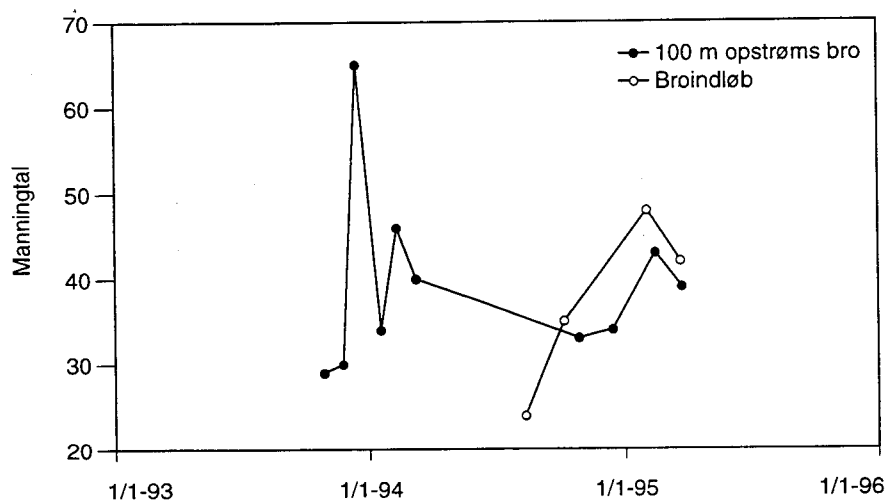
Måling af hydrauliske parametre

Der er i denne undersøgelse også målt hydrauliske parametre som vandspejlshældning (I). Endelig er der opmålt vandløbs tværsnit, hvorved strømningsarealet A (m^2) og hydraulisk radius, $R = A/p$, hvor p er den våde perimeter (længden i et tværsnit af sider og bund, der er i kontakt med vandet) kan bestemmes. Der er målt vandføring Q ($m^3 s^{-1}$), hvorved middelhastigheden $V = Q/A$ ($m s^{-1}$) findes. Måledata findes i bilag 2, mens Manningtallets variation over året for Skjern Å og Omme Å er vist i figurene 28 og 29.

Figur 28 Manningtallets variation ved Skjern Å, Gjaldbæk



Figur 29 Manningtallets variation ved Omme Å, Sønderskov Bro



Variation i Manningtallet

I disse store vandløb spiller friktion fra grøden en relativt lille rolle, så den årstidsvariation, der kan iagttages på figurene skyldes især vandføringsvariationen over året. Ved store vandføringer (efterår til tidlig forår) vil bund og sider i vandløb påvirke strømmingen relativt mindre, hvilket afspejles i højere Manningtal. Det fremgår endvidere af figurene, at Manningtallet generelt ligger højere ved broindløbet end på vandløbsstrækningen opstrøms broen. Dette er et eksempel på Energiligningen (se f.eks. *Engelund og Pedersen, 1982*). For at vandløbet kan passere den forhindring, brokonstruktionen udgør, omsættes potentiel energi (vanddybde) til kinetisk energi (strømhastighed), dvs. vanddybden falder og strømningshastigheden

stiger, og der beregnes hermed et højere Manningtal. De beregnede Manningtal for Skjern Å og Omme Å er i overensstemmelse med det forventede, idet *Engelund og Pedersen (1982)* angiver Manningtal på ca. 40 for naturlige vandløb uden materialevandring, mens *Wilson (1983)* angiver et Manningtal på 30 for et såkaldt standard naturligt vandløb eller en flod i stabil tilstand.

Forskydningsspændingen τ I bilag 2 er også angivet forskydningsspænding beregnet for en strækning omkring de tværprofiler, hvor der er målt vandføringer i de syv vandløb. Stigning i forskydningsspænding betyder, at der sker et kraftigere træk mod bunden, således at meget af materialet på vandløbsbunden kan bringes i suspension og dermed i transport. Vandløb med store τ -værdier vil generelt have grovere materialer på bunden end vandløb med små τ -værdier.

4 Transport af suspenderet stof og fosfor i den nedre del af Skjern Å-systemet

4.1 Indledning

Er en punktprøve repræsentativ?

Den suspenderede transport beregnes på baggrund af døgnmiddelvandføringer og de koncentrationer af suspenderet stof, som bestemmes på de udtagne vandprøver. Det er afgørende at afklare om stoftransporter beregnet ud fra en månedlig punktprøvetagning (klassisk metode) giver sammenlignelige resultater med en kontinuert, puljet prøvetagning. Ligeså væsentligt er det, at afklare om en prøve taget i et punkt giver samme koncentration som dybdeintegrede prøver eller som midlen af mange punktprøver taget forskellige steder i et vandløbsprofil.

Disse overvejelser er specielt vigtige i denne undersøgelse, hvor stoftransporterne fra måleperioden skal danne grundlag for en empirisk relation, der skal anvendes for at beregne transporten ud over den periode, som relationen er opstillet for.

I kapitlet inddrages ligeledes fosfortransport i den nedre del af Skjern Å-systemet.

4.2 Varierer koncentrationer på tværs af og med dybden i et vandløb?

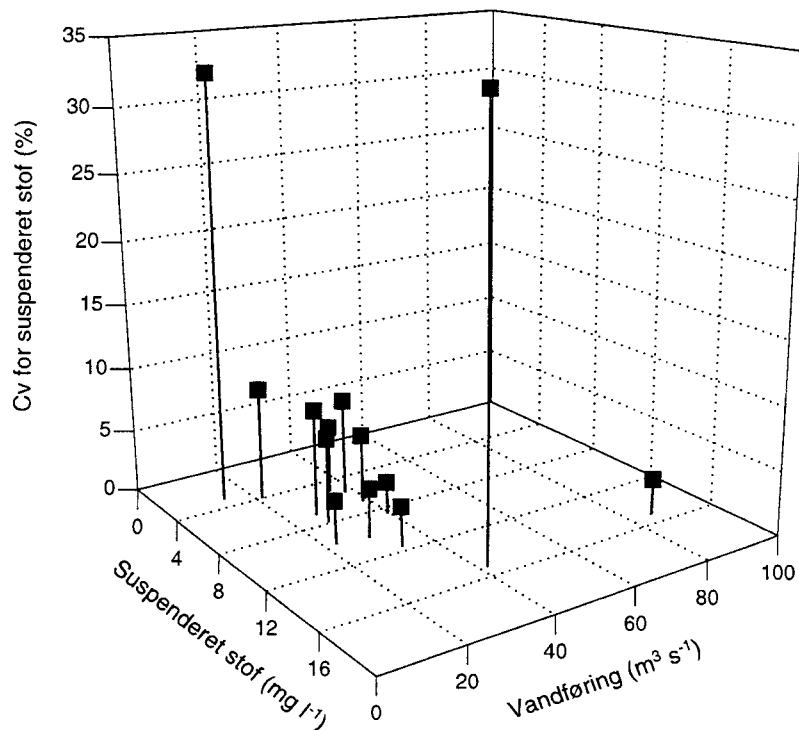
Dybdeintegrerede prøver: er der forskel på tværs i koncentrationen i et vandløb i de store vandløb?

Der blev ved en række kampagnemålinger gennemført dybdeintegreret prøvetagning i de syv type 1 og 2 vandløb. Der blev målt i et antal profiler på tværs af de enkelte vandløb og i bilag 3 er angivet middelværdi (\bar{X}), standardafvigelse (s) og variationskoefficienten (CV) for hvert vandløb ved hver af disse kampagner for den suspenderede stofkoncentration. Måleusikkerheden på koncentrationen af suspenderet stof kan ved lave koncentrationer (som der overvejende har været i denne undersøgelse) udtrykkes ved variationskoefficienten CV på 10-20%, og ved høje koncentrationer som 2 mg l^{-1} (Svendsen og Rebsdorf, 1994). Generelt har CV været lavere end 20 % i Skjern Å og Omme Å og i hovedparten af kampagnerne ved Søndre Parallelkanal (bilag 3). Dette er et kvalitativt udtryk for, at der ikke er nogen signifikant variation i koncentrationen på tværs af vandløbene. Der er heller ikke tendens til større CV på tværs af de tre vandløb ved stigende vandføringer (figur 30, 31 og 32).

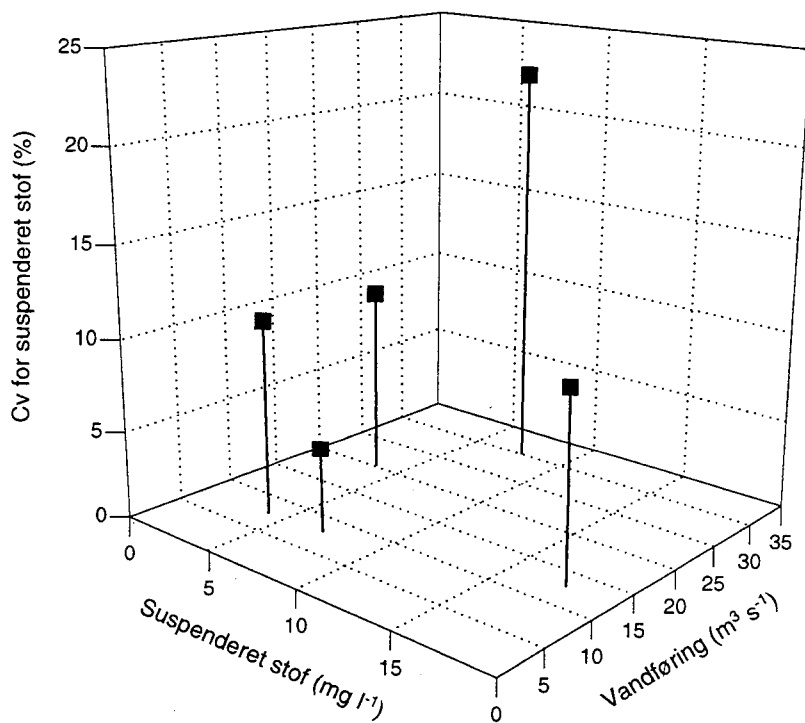
Ingen koncentrationsforskelle i tværprofilen i de 4 små vandløb

For de 4 mindre vandløb i undersøgelsen (Ganer Å, Kirke Å, Tarm Bæk og Tarm Møllebæk) er der gennemført en test af parvise observationer ved dybdeintegreret prøvetagning for de i bilag 3 viste kampagnemålinger. Ingen af de profiler der blev sammenlignet parvist i de enkelte vandløb viste signifikant forskel på et 5% signifikansniveau, således at der heller ikke for de små vandløb har kunnet påvises nogen koncentrationsforskelle for suspenderet stof på tværs af vandløbene.

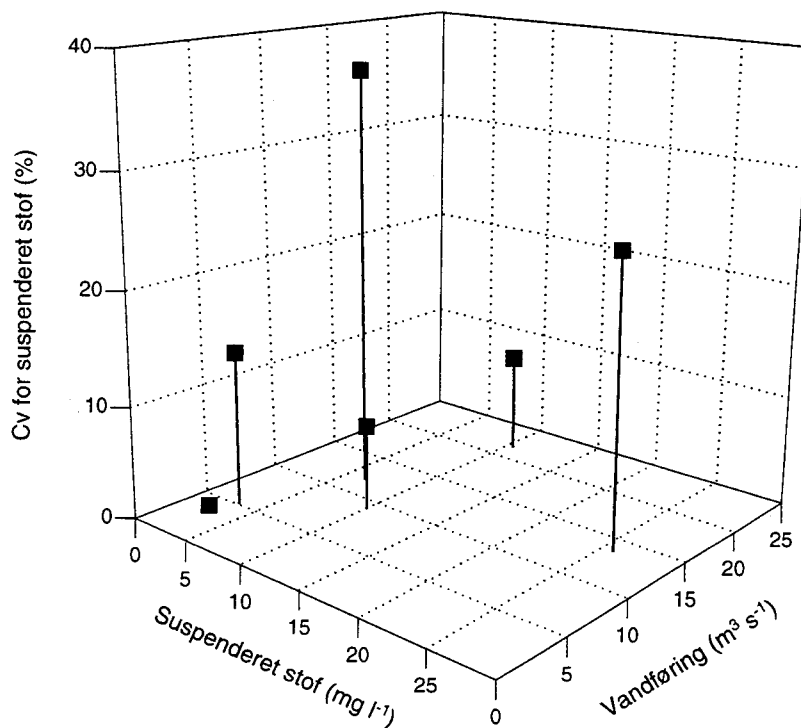
Figur 30 Plot af middelværdien af den suspenderede stofkoncentration i forskellige profiler på tværs af vandløbet ved Skjern Å, Gjaldbæk (x-akse), vandføringen (y-akse) og variationskoefficienten (CV) for de enkelte kampagnemålinger med målinger dybdeintegreret i 1994 og 1995.



Figur 31 Plot af middelværdien af den suspenderede stofkoncentration i forskellige profiler på tværs af vandløbet ved Omme Å, Sønderskov Bro (x-akse), vandføringen (y-akse) og variationskoefficienten (CV) for de enkelte kampagnemålinger med målinger dybdeintegreret i 1994 og 1995.



Figur 32 Plot af middelværdien af den suspenderede stofkoncentration i forskellige profiler på tværs af vandløbet ved Sødre Parallelkanal (x-akse), vandføringen (y-akse) og variationskoefficienten (CV) for de enkelte kampagnemålinger med målinger dybdeintegreret i 1994 og 1995.



Varierer koncentrationen med dybden?

For at teste om der er forskel på koncentrationer målt nær overfladen af et vandløb, midt i vandløbet og tæt ved bunden, blev der på punktmålingerne i tabel 11-13 gennemført en en-sidet variansanalyse, der for alle vandløb viste, at der ikke kunne påvises nogen signifikant variation i koncentrationen af suspenderet stof over dybden.

Tabel 11 Skjern Å, Gjaldbæk den 940622. Koncentration af suspenderet stof bestemt ud fra punktprøver udtaget i tre profiler (afstand 17,5 m; 30,0 m og 40,0 m fra venstre brink set opstrøms) og i tre dybder (10 cm under overfladen, midt i profilet og 10 cm over bunden). Vandføringen var 22,4 m³ s⁻¹. Enheden i tabellen er mg l⁻¹.

Dybde	17,5 m	30,0 m	40,0 m
Øverst (10 cm u.o.)	6,6	5,8	6,4
Midten	6,6	6,6	6,2
Nederst (10 cm o.b.)	6,4	6,0	5,8

Tabel 12 Skjern Å, Gjaldbæk den 950202: Koncentrationer af suspenderet stof bestemt ud fra punktprøver udtaget i to profiler (afstand 17,5 m og 30,0 m fra venstre brink set opstrøms) og i tre dybder (10 cm under overfladen, midt i profilet og 10 cm over bunden). Vandføringen var 85,6 m³ s⁻¹. Enheden i tabellen er mg l⁻¹.

Dybde	17,5 m	30,0 m
Øverst (10 cm u.o.)	16,4	14,3
Midten	13,0	15,2
Nederst (10 cm o.b.)	14,2	14,8

Tabel 13 Omme Å, Sønderskov den 950202. Koncentrationer af suspenderet stof bestemt ud fra punktprøver udtaget i to profiler (afstand 17,5 m og 30,0 m fra venstre brink set opstrøms) og i tre dybder (10 cm under overfladen, midt i profilet og 10 cm over bunden). Vandføringen var 30,3 m³ s⁻¹. Enheden i tabellen er mg l⁻¹

Dybde	12,5 m	17,5 m
Øverst (10 cm u.o.)	6,6	6,4
Midten	6,8	7,0
Nederst (10 cm o.b.)	6,4	6,4

Sammenligning af punktprøver ved dybdeintegrerede prøver

I 10 tilfælde ved Skjern Å, Gjaldbæk og 11 tilfælde ved Omme Å, Sønderskov Bro er der taget dybdeintegrerede prøver (3 til 7) på tværs af de to vandløb samtidig med, at der er taget en punktprøve 20 cm under overfladen i det profil, hvor ISCO samplersens indtag er placeret. Prøverne er taget jævnt fordelt ud over måleperioden (tabel 14). Der kan ikke påvises nogen statistisk forskel i de målte koncentrationer ud fra de to prøvetagningemetoder. Der kan heller ikke påvises nogen systematisk afhængighed mellem vandføringen og koncentrationsforskellen målt mellem de to metoder.

Konklusion

Der kan således ikke påvises statistisk signifikant forskel i koncentration af suspenderet stof (og i øvrigt også fosfor og organisk stof) på tværs i et vandløbsprofil eller med dybden i de undersøgte vandløb. Endvidere er prøvetagning i et punkt repræsentativt for koncentrationerne på det pågældende tidspunkt i hele vandløbstværprofilet. Derfor er den anvendte prøvetagning med en ISCO sampler, der udtager prøver i et punkt repræsentativt for koncentrationsforholdene.

Tabel 14 Samhørende værdier af dybdeintegrerede prøver (prøvetype = 13) og punktprøver (prøvetype = 16) for suspenderet materiale (ss), uorganisk indhold (gr) og total fosfor (TB) ved Skjern Å, Gjaldbæk. For hvert sæt af værdier er vist koncentrationsforskelle (Diff.) mellem de to prøvetagningemetoder. For de dybdeintegrerede prøver er angivet middelværdier af prøver den pågældende dag. - = ingen værdi.

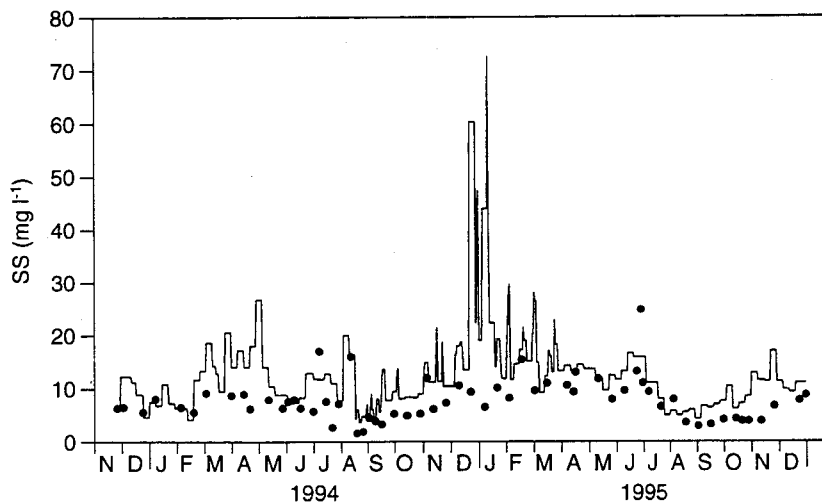
Dato	Q l s ⁻¹	Prøve type	Antal	Susp.stof mg l ⁻¹	Gløderest mg l ⁻¹	Total fosfor mg l ⁻¹	Diff.ss mg l ⁻¹	Diff.gr mg l ⁻¹	Diff.TP mg l ⁻¹
19940126	38235	13	7	6,9	4,414	0,087	-0,79	0,214	-
19940126	18253	16	1	7,7	4,200	-	-	-	-
19940209	35552	13	3	4,9	3,100	0,055	-0,27	-0,2	-0,001
19940209	35552	16	1	5,2	3,300	0,056	-	-	-
19940223	26493	13	3	7,9	3,900	0,070	0,04	0,0	-0,004
19940223	26493	16	1	7,5	3,900	0,074	-	-	-
19940322	44172	13	7	7,0	4,529	0,070	0,47	0,329	0,006
19940322	44172	16	1	6,5	4,200	0,064	-	-	-
19940504	22701	13	7	9,8	5,242	0,077	0,16	0,543	0,002
19940504	22701	16	1	9,7	4,700	0,075	-	-	-
19940622	22352	13	2	6,7	3,200	0,068	0,1	-	-
19940622	22352	16	1	6,6	-	-	-	-	-
19940804	13986	13	3	3,1	1,466	0,051	-0,9	-0,233	0,017
19940804	13986	16	1	4,0	1,700	0,049	-	-	-
19941005	38049	13	3	5,4	3,200	0,073	0,0	0,0	0,003
19941005	38049	16	1	5,4	3,200	0,070	-	-	-
19941207	33093	13	7	11,6	7,057	0,098	0,8	0,857	-0,003
19941207	33093	16	1	10,8	6,200	0,102	-	-	-
19950202	85574	13	7	15,2	9,742	0,130	-1,2	-	0,001
19950202	85574	16	1	16,4	-	0,129	-	-	-

4.3 Sammenligning af intensiv og punktprøvetagning

Puljing af intensive prøver

De intensivt udtagne prøver blev puljet til en ugeprøve under stabil afstrømningsforhold og til en, to, tre eller fire dages puljede prøver, hvis der optrådte markante flomme. Generelt er de målte suspenderet stof koncentrationer baseret på intensiv puljet prøvetagning højere end de tilsvarende koncentrationer fra punktprøver (figur 33).

Figur 33 Koncentrationen af suspenderet stof ved intensiv puljet prøvetagning (linie) og for punktprøver (punkter) ved Skjern Å, Gjaldbæk.



Punktprøver hver 14. dag underestimerer den suspenderede stoftransport betydeligt

Den suspenderede stoftransport var væsentlig højere ved anvendelse af intensiv, puljet prøvetagning fremfor punktprøver hver 14. dag (tabel 15), medens der for total fosfortransport kun var små forskelle (tabel 16). Ved en intensiv prøvetagning (i denne undersøgelse hver fjerde time) tages prøver så ofte, at der er en større sandsynlighed for at "fange" begivenheder med høje koncentrationer i forhold til prøvetagning hver 14. dag eller hver måned. Endvidere sikrer intensiv puljet prøvetagning imod at en enkelt prøve ved f.eks. meget høje koncentrationer giver urepræsentative transportberegninger, som det ellers kan være tilfældet ved punktprøvetagning hver 14. dag eller hver måned.

Tabel 15 Den suspenderede stoftransport ved Skjern, Gjaldbæk og Omme Å, Sønderkov Bro beregnet ud fra intensiv (hver 4. time) puljet prøvetagning og punktprøver udtaget hver 14. dag.

	Skjern Å, Gjaldbæk Intensiv ton år ⁻¹	Skjern Å, Gjaldbæk Punktprøve ton år ⁻¹	Omme Å, Sønderkov Bro Intensiv ton år ⁻¹	Omme Å, Sønderkov Bro Punktprøver ton år ⁻¹
1994	12050	6820	2940	2500
1995	13190	8260	2570	1470

Tabel 16 Den totale forfortransport ved Skjern, Gjaldbæk og Omme Å, Sønderskov Bro beregnet ud fra intensiv puljet prøvetagning og punktprøver hver 14. dag.

	Skjern Å, Gjaldbæk Intensiv ton år ⁻¹	Skjern Å, Gjalbæk Punktprøve ton år ⁻¹	Omme Å, Sønderskov Bro Intensiv ton år ⁻¹	Omme Å, Sønderskov Bro Punktprøver ton år ⁻¹
1994	69,4	65,2	28,5	29,4
1995	78,6	72,1	23,8	21,5

Relative afvigelser mellem stoftransporter beregnet med de to målemetoder

Beregnes afvigelsen mellem transporten beregnet ved intensiv puljet prøvetagning (TI) og punktprøvetagning (TD) som $(TI-TD)/TD * 100\%$ ses, at intensiv puljet prøvetagning både i 1994 og 1995 gav suspenderede stoftransporter, der var over 60% højere end ved 14 dages punktprøvetagning (tabel 17). For total fosfortransporten (tabel 16 og 17) var der ikke større forskelle på de to prøvetagningsmetoder. Den samme tendens er påvist i Gelbæk ved intensive undersøgelser (Kronvang et al., 1997). Ved høje vandføringer vil den suspenderede transport også indeholde store kornstørrelser med et generelt lavt fosforindhold, idet fosfor overvejende vil være bundet til fin-partikulært materiale (Svendsen og Kronvang, 1993; Aub-Robinson et al., 1997; Larsen et al., 1995 samt Pedersen og Hasholt, 1997). Derfor vil specielt den suspenderede transport kunne være væsentligt underestimeret ved 14 dages punktprøvetagning også i større vandløb.

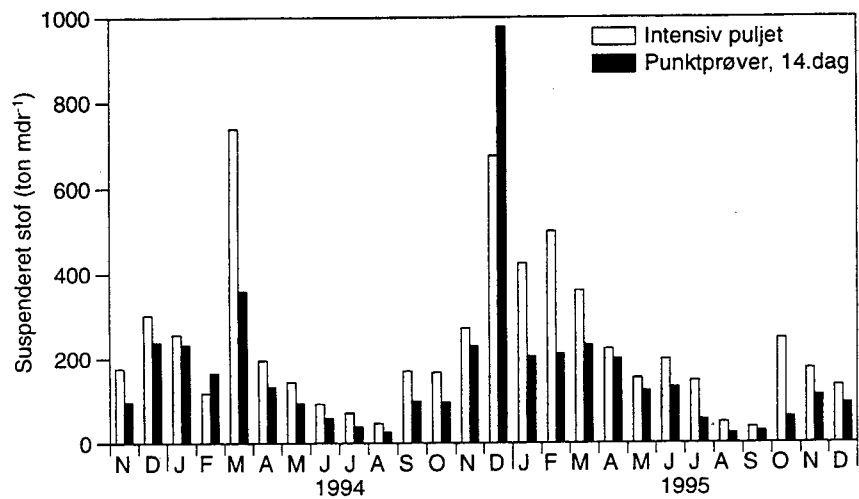
Månedstransporter af suspenderet stof og fosfor

Medens afvigelsen mellem intensive puljede prøver og punktprøver ved Skjern Å, Gjaldbæk er nogenlunde ens i 1994 og 1995 for både den suspenderede stoftransport og for total fosfortransporten er der langt større forskel i Omme Å de to år. En væsentligste årsag hertil er to punktprøver fra december 1994 i Omme Å, der netop er taget under vandføringstoppe, hvor der har været en meget høj koncentration i punktprøverne. Dette har medført at transporten beregnet med 14 dages punktprøver i december 1994 er væsentligt større end den tilsvarende beregnet med intensiv, puljet prøvetagning, figur 34. Det generelle mønster for månedstransporterne er, at de største absolutte og relative afvigelser mellem suspenderet stoftransport beregnet med intensiv puljet prøvetagning og 14 dages punktprøvetagning forekommer i vinterhalvåret (figur 34 og 35).

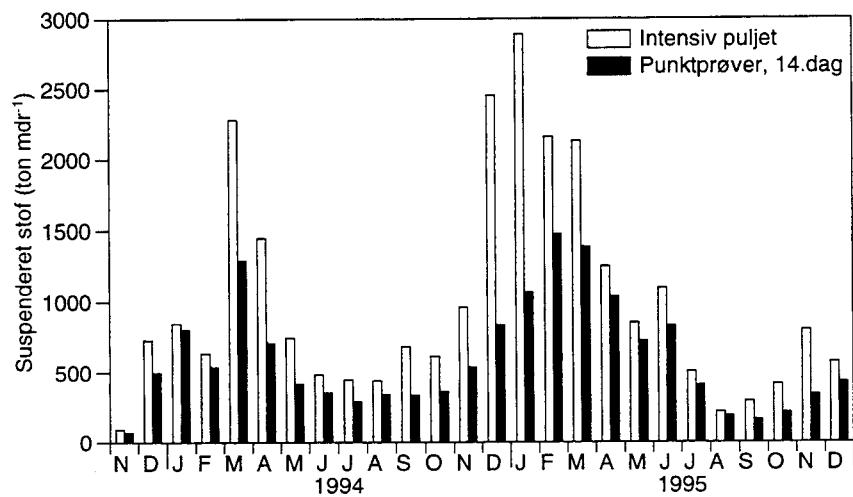
Tabel 17 Den relative forskel i transport af suspenderet stof (SS) og total fosfor (TP) mellem intensiv puljet prøvetagningsstrategi (TI) og punktprøvetagning hver 14. dag (TD), beregnet som $(TI-TD)/TD*100\%$ i 1994, 1995 og begge år til sammen. Alle værdier er angivet i procent. De beregnede afvigelser i tabel 17 ændredes ikke af, at der i perioder blev taget ugentlige punktprøver.

	SS-Skjern, Gjaldbæk	SS-Omme Å, Sønderskov Bro	SS-Skjern + Omme Å	TP-Skjern Å, Gjaldbæk	TP-Omme Å, Sønderskov Bro	TP-Skjern Å + Omme Å
1994	76,6	17,6	60,8	6,4	-3,1	3,5
1995	59,7	74,8	62,0	9,0	10,7	10,0
1994/95	67,4	38,8	61,4	7,8	2,8	6,4

Figur 34 Månedstransporter af suspenderet stof beregnet ud fra intensivt puljede prøver og punktprøver udtaget hver 14. dag i Omme Å, Sønderskov Bro



Figur 35 Månedstransporter af suspenderet stof beregnet ud fra intensivt puljede prøver og punktprøver udtaget hver 14. dag i Skjern Å, Gjaldbæk



Sammenligning af stoftransporterne i 1994 og 1995. Højest i 1995 trods lavere vandføring

Det er bemærkelsesværdigt, at selv om aftrømningen var lavere i 1995 end i 1994, så var transporten ved Skjern Å, Gjaldbæk af såvel suspenderet stof som af total fosfor højere i 1995 ved begge prøvetagningsmetoder, medens det modsatte var gældende i Omme Å (tabel 15 og 16). De meget høje vandføringer i januar til og med marts 1995 giver meget store transporter, der betyder væsentlig mere end de små transporter i 2. halvår af 1995 (figur 35). Endvidere har oversvømmelser opstrøms Borris i marts 1994 medvirket til en reduceret suspenderet stof (og fosfor) transport i 1994 i forhold til den høje vandføring grundet deponering af partikulært materiale på de oversvømmede arealer (Jeppesen et al., 1997). Det er således af afgørende betydning at få målt intensivt under sådanne høje vandføringer. Transporten af suspenderet stof er tilsyneladende ikke begrænset af levering af materiale, da der ikke synes at være sket så stor en udtømming af depoterne i 1994, at det giver en målbar begrænsning af transporten i 1995.

Tabel 18 Årstransporten af suspenderet stof (SS) og total fosfor (TP) og den procentvise andel heraf af henholdsvis organisk materiale og opløst fosfor.

	Skjern Å SS tons år ⁻¹	Skjern Å SS organisk stof %	Omme Å SS tons år ⁻¹	Omme Å SS organisk stof %	Skjern Å TP tons år ⁻¹	Skjern Å opløst P %	Omme Å TP tons år ⁻¹	Omme Å opløst P %
1994	12051	47	2942	46	69,4	22	28,5	27
1995	13186	40	2570	45	78,6	16	23,8	30

Opløst fosfor og organisk stof

De udtagne prøver er også analyseret for indholdet af opløst fosfor og organisk stof. For både Skjern Å og Omme Å udgør organisk stof knap halvdelen af den suspenderede stoftransport i 1994 og 1995 (tabel 18). Andelen af opløst fosfor synes at være noget højere i Omme Å (ca. 30% af total fosfor) end i Skjern Å (ca. 20% af total fosfor), hvilket delvist kan tilskrives høj dambrugsbelastning i Omme Å (Ringkjøbing Amtskommune, 1995).

4.4 Suspenderet stoftransport i nedre del af Skjern Å-systemet i 1994 og 1995

Transport af suspenderet stof og af fosfor i den nedre del af Skjern Å-systemet

De samlede transporter for vandløbene i den nedre del af Skjern Å-systemet samt den samlede transport for henholdsvis suspenderet transport (tabel 19) og for total fosfor (tabel 20) er næsten identiske i 1994 og 1995. Transporterne er for Skjern Å og Omme Å baseret på intensive prøvetagninger og for de øvrige vandløb på månedlige puljede punktprøver og de etablerede Q-Q relationer med Skjern Å, Ahlergårde beskrevet i afsnit 3.4. Nederst i tabellerne 19 og 20 er vist den samlede transport i den nedre del af Skjern Å-systemet, hvor der er søgt korrigeret for den underestimering af transporten, der er påvist ved punktprøvetagning (tabel 17).

Tabel 19 Suspenderet stoftransport i den nedre del af Skjern Å-systemet. Beregning af den korrigerede transport er forklaret i teksten ovenfor.

	1994 tons år ⁻¹	1995 tons år ⁻¹	1994 kg ha ⁻¹	1995 kg ha ⁻¹
Skjern Å, Gjaldbæk	12051	13186	77,4	84,6
Omme Å, Sønderskov	2982	2570	48,7	42,0
Tarm Bæk, Omfartsvej	208	206	46,2	45,8
Tarm Møllebæk,				
Kyvling Bro	83	94	23,7	26,9
Ganer Å, Amager Bro	286	279	35,8	34,9
Kirke Å, Kirkestien	168	130	38,2	29,5
Søndre Parallelkanal,				
Lønborg Bro	2488	1940	91,5	71,3
Samlet transport^{*)}	17521	17696	70,9	71,6
Samlet korrigeret transport^{*)}	19426	18854	78,6	76,3

^{*)} Skjern Å, Ahlergårde, Omme Å, Sønderskov Bro og Søndre Parallelkanal, Lønborg Bro idet bidraget fra Tarm Bæk, Tarm Møllebæk, Ganer Å og Kirke Å indgår i målingerne ved Søndre Parallelkanal, Lønborg Bro, dvs. samlet oplandsareal på i alt ca. 2470 km².

Table 20 Transport af total-fosfor i den nedre del af Skjern Å-systemet. Beregning af den korrigerede transport er forklaret i teksten ovenfor.

	1994 tons år ⁻¹	1995 tons år ⁻¹	1994 kg ha ⁻¹	1995 kg ha ⁻¹
Skjern Å, Gjaldbæk	69,4	78,6	0,45	0,50
Omme Å, Sønderskov	28,5	23,8	0,47	0,39
Tarm Bæk, Omfartsvej	2,6	2,4	0,58	0,53
Tarm Møllebæk, Kyvling Bro	1,5	1,3	0,43	0,37
Ganer Å, Amager Bro	3,3	3,0	0,41	0,38
Kirke Å, Kirkestien	1,5	1,2	0,34	0,27
Søndre Parallelkanal, Lønborg Bro	22,7	20,2	0,91	0,81
Samlet transport*	120,6	122,6	0,49	0,50
Samlet transport - korrigeret*	126,7	128,9	0,51	0,52

* Skjern Å, Ahlergårde, Omme Å, Sønderskov Bro og Søndre Parallekanal, Lønborg Bro idet bidraget fra Tarm Bæk, Tarm Møllebæk, Ganer Å og Kirke Å indgår i målingerne ved Søndre Parallelkanal, Lønborg Bro, dvs. samlet oplandsareal på i alt ca. 2470 km².

Korrektion for den påviste underestimering af suspenderet stof og fosfor

Transporten for suspenderet stof er korrigeret med den forskel, der blev beregnet for Skjern Å, Gjaldbæk (henholdsvis 76,6% og 59,7% i 1994 og 1995 mellem intensiv puljet og punktprøvetagning hver 14. dag). Transporten af total fosfor i de mindre vandløb er korrigeret på baggrund af en sammenligning mellem intensiv, puljet og punktprøvetagning i 14 mindre vandløb under Vandmiljøplanens Overvågningsprogram for vandløb og kilder (Larsen *et al.*, 1995). Der er her observeret en undervurdering ved punktprøvebaseret total fosfortransport på 27% i 1994 og 31% i 1995 i mindre landbrugsbelastede vandløb. Den samlede arealspecifikke transport af suspenderet stof og total fosfor til den nedre del af Skjern Å-systemet var i 1994 henholdsvis 79 kg SS ha⁻¹ år⁻¹ og 0,51 kg TP ha⁻¹ år⁻¹ og i 1995 tilsvarende 76 SS kg ha⁻¹ år⁻¹ og 0,52 kg TP ha⁻¹ år⁻¹.

Arealtabene for fosfor ligner dem, der er målt under Vandmiljøplanens Overvågningsprogram

De beregnede arealtab for total fosfor fra 1994 svarer stort set til de landsdækkende værdier fra Vandmiljøplanens Overvågningsprogram, hvor tabet fra dyrkede oplande uden punktkilder i gennemsnit var 0,58 kg ha⁻¹ (Larsen *et al.*, 1995). I oplande med punktkilder var tabet 0,70 kg ha⁻¹ i 1994. Oplandene i Overvågningsprogrammet er dog generelt mindre end oplandene til Skjern Å og tabet i et stort opland forventes at være mindre grundet større intern stoftilbageholdelse i de store vandløbssystemer i søer, ved oversvømmelser af de lavere dele af vandløbssystemet samt stofomsætning i vandløbsnære arealer (Jeppesen *et al.*, 1997). Areal-koefficienterne for såvel suspenderet stof som total fosfor er høje i Søndre Parallekanal, der ofte er præget af kraftig vestenvind og deraf affødt bølgegang, som giver meget resuspension (ophvivlen) af aflejret materiale på bunden. Tallene fra Søndre Parallekanal er derfor behæftet med en større usikkerhed end for de øvrige vandløb og muligvis er for store. I Svendsen og Hansen (1997) angives endvidere, at der fra Hestholm området er et stort tab af fosfor og suspenderet stof, bl.a. på grund

af stor oppumpning og stor nedbrydning af de organisk rige jorde i Hesholm området.

Hedeselskabets transportberegning for 1994.

Hedeselskabet (1995) har for Ringkjøbing Amt i perioden 1.6.1993 - 1.6.1995 målt stoftransporten ved henholdsvis Søndre Parallelkanal, Engholm Bro (260 km²) og Skjern Å, Hedeby Bro (2200 km²). Stoftransporten ved den første station skal sammenlignes med stoftransport fra Søndre Parallelkanal, Lønborg Bro. Hedeselskabets station ved Hedeby Bro skal sammenlignes med summen af denne undersøgelses resultater for Skjern Å, Gjaldbæk og Omme Å, Sønderskov. Sammenligningen kan på årstransporter kun gennemføres for 1994 som vist i tabel 21. Stoftransporten er i Hedeselskabets undersøgelse baseret på punktprøver udtaget med 14 dages intervaller.

Sammenligning mellem DMU's og Hedeselskabets transportmålinger i 1994

Det fremgår af tabel 21, at transporten af suspenderet stof bestemt i denne undersøgelse ved intensiv prøvetagning (Gjaldbæk og Sønderskov) ligger væsentligt højere (62%) end Hedeselskabets transport baseret på punktprøver udtaget hver 14. dag. Forskellen er i samme størrelsesorden, som blev observeret mellem intensiv puljede og 14 dages punktprøvetagning i denne undersøgelse (tabel 17). For transporten af total fosfor er der god overensstemmelse mellem DMU's og Hedeselskabets transportestimat i Søndre Parallelkanal, hvor begge beregninger er baseret på punktprøver hver måned eller hver 14. dag. Derimod er den 14 dages punktprøvebaserede transport af total fosfor ved Hedeby Bro lidt højere (13%) end DMU's beregnede total fosfor transport med intensiv puljet prøvetagning for Skjern Å, Gjaldbæk + Omme Å, Sønderskov. Dette er i god overensstemmelse med tabel 17, hvor der ikke blev fundet væsentlig forskel mellem punktprøvetagning og puljet intensiv prøvetagning af total fosfortransporter.

Tabel 21 Sammenligning mellem målinger foretaget i 1994 i denne undersøgelse (intensivpuljet prøvetagning) og målinger udført af Hedeselskabet, 1995 (punktprøver hver 14. dag). SS er den suspenderede stoftransport og TP er total fosfor transporten. Arealerne for målestationerne er justeret i overensstemmelse med Svendsen og Hansen (1997).

	Søndre Parallelkanal, Engholm Bro (260 km ²) 14 dg punktprøver Hedeselskabet	Søndre parallelkanal, Lønborg Bro (korrigeret) (1272 km ²) Månedlige punktprøver DMU	Skjern Å, Hedeby Bro (2200 km ²) 14 dg punktprøver Hedeselskabet	Skjern Å, Gjaldbæk + Omme Å, Sønderskov Bro (2170 km ²) Intens.puljet pr.tagning DMU
SS tons år ⁻¹ kg ha ⁻¹	1900 73,1	2488 91,5	9300 42,3	15033 69,3
TP tons år ⁻¹ kg ha ⁻¹	21,2 0,82	22,7 0,84	113,8 0,52	97,9 0,45

4.5 Empiriske relationer for transport af suspenderet stof og total fosfor

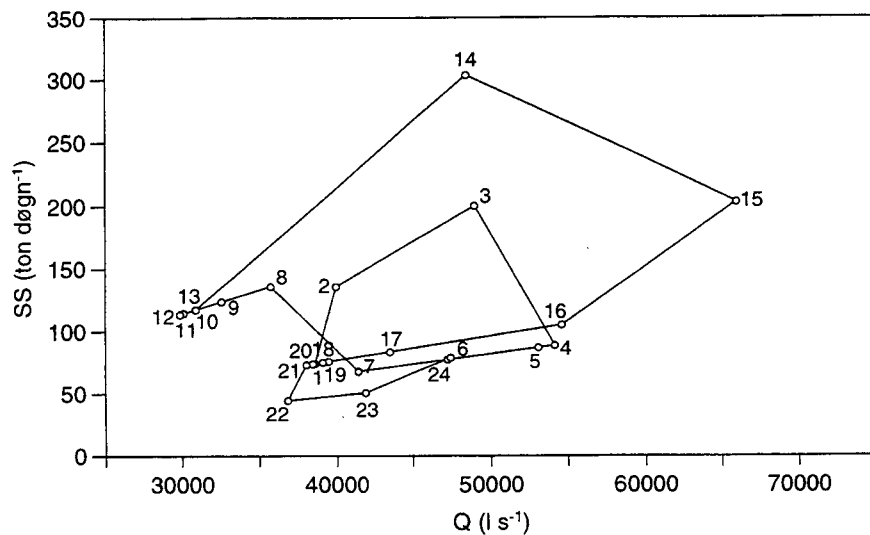
Grundlag for opstilling af empiriske formler

For at beregne transporten af suspenderet stof og total fosfor bagud i tid under forudsætning af den eksisterende punktkildebelastning, vandløbshydrauliske forhold, dræningsintensitet, arealudnyttelse mv., er der udviklet empiriske relationer mellem vandføringen og koncentrationen af henholdsvis suspenderet stof og total fosfor. Det er ikke et forsøg på at beskrive, hvordan stoftransporten reelt var før 1994, men ud fra de nuværende forhold at beskrive den stoftransportvariation, der ville have været med de kendte vandføringer. Dette skal tjene som et bedre statistisk grundlag for en vurdering af variationen i den fremtidige belastning med suspenderet stof og fosfor af den nedre del af Skjern Å-systemet. De nuværende forhold er valgt, fordi det må antages, at der næppe vil ske markante reduktioner i spildevandsbelastninger med fosfor i fremtiden, således at koncentrationsforholdene i 1994 og 1995 er mere repræsentative i fremtidsscenarier, end hvis der anvendtes fosforkoncentrationen fra f.eks. 1970'erne og 1980'erne. Beregningerne er kun ført tilbage til 1965, da de hydrauliske forhold i den nedre del af Skjern Å-systemet var væsentligt anderledes før reguleringen i perioden 1965-68. Vandføringsmæssigt dækker perioden siden 1965 dog de samlede døgnvandføringsvariationer, der har været observeret i hele måleperioden 1920-95. Da der for alle vandløbene med hensyn til vandføring er etableret en regressionsammenhæng med Skjern Å, Ahlergårde, hvor der foreligger en lang tidsserie, er det muligt at ekstrapolere stoftransporten tilbage i tid for hele Skjern Å-systemet.

Intern stoftilbageholdelse og -ophvirvling komplicerer udvikling af empirisk model

Der kan ikke på simpel vis etableres en sammenhæng mellem koncentrationen af suspenderet stof (eller total fosfor) og vandføringen, der beskriver hovedparten af de variationer, der kan forekomme. I løbet af sommeren ophobes en del finpartikulært materiale i vandløbet i grødeøer, i vandløbets kantzone og i dybe dele af vandløbet, som kan resuspenderes under flomepisoder i efteråret, specielt når grøden er begyndte at henfalde eller er blevet slået (Svendsen og Kronvang, 1993 og Svendsen et al., 1995). Det forhold er specielt udbredt i mindre grødebevoksede, lavlands vandløb, som typisk forekommer i Danmark. Det betyder, at der ved de første flomme kan komme høje koncentrationer af suspenderet stof og fosfor ved kun moderate stigninger i vandføringen, og at de højeste koncentrationer kommer på den stigende del af hydrografen (figur 36). I løbet af nogle få flomme udluges den tilgængelige pulje på vandløbsbunden og det kræver større vandføringer at få høje koncentrationer af partikulært materiale og kilderne til stoftilførslerne vil nu primært ligge i oplandet. Disse forhold er også iagttaget i Skjern Å (figur 36). Det vil derfor være påkrævet, hvor datagrundlaget er tilstede, at forsøge at indarbejde de beskrevne forhold i en empirisk model.

Figur 36 Koncentrationsudvikling af suspenderet stof under tre på hinanden følgende flombegivenheder ved Skjern Å, Gjaldbæk i efteråret 1994. Der er en puljet døgnprøve pr. nummer. 1. prøve = nr. 1, 2. prøve = nr. 2, osv., hvor nr. 1 er den først udtagne prøve og nr. 24 den sidst udtagne prøve.



Empirisk model for stoftransport i Søndre Parallelkanal

Søndre Parallelkanal, Lønborg Bro anvendes til at repræsentere de fem type 2 vandløb tilsammen. Der er derfor etableret en simpel sammenhæng mellem logaritmen til stofkoncentrationen af henholdsvis suspenderet stof (C_{SS} i $mg\ l^{-1}$) og total fosfor (C_{TP} $mg\ l^{-1}$) målt i Søndre Parallelkanal, Lønborg Bro med vandføringen (ligning 19-20), idet der ikke er et tilstrækkeligt antal stofkoncentrationsmålinger til at lave en mere forfinet model:

Søndre Parallelkanal:

$$\ln C_{SS} = -6,1 + 0,895 \cdot \ln Q \quad R^2=0,616 \quad P<0,0009 \quad (19)$$

$$\ln C_{TP} = -7,1 + 0,514 \cdot \ln Q \quad R^2=0,738 \quad P<0,0001 \quad (20)$$

, hvor vandføringen Q har enheden $l\ s^{-1}$.

Heraf er der på basis af Q - Q relationen fra afsnit 3.4 (ligning 18) med den korrigerede vandføringstidsserie fra Skjern Å, Ahlergårde beregnet en døgnstoftransport af suspenderet stof og total fosfor for perioden 1965-1995 og tilhørende årstransporter (bilag 4).

Empirisk model for stoftransport i Skjern Å og Omme Å

Hydrografopsplitning

Ved Skjern Å, Gjaldbæk og Omme Å, Sønderskov Bro har der været så mange koncentrationsmålinger af suspenderet stof og total fosfor og så god en vandføringstidsserie, at det har været muligt at foretage en multipel regressionsanalyse, hvori indgår en opdeling af koncentrationer af suspenderet stof og total fosfor på de enkelte måneder (i måleperioden oktober 1993 til december 1995) samt under baseflow og under stormflow. "Hydrografopsplitningen" af døgnvandføringerne i en baseflow og en stormflowkomponent er foretaget med det såkaldte baseflowindeks BFI, som er beskrevet i Clausen (1995). Opdelingen bruges til at karakterisere afstrømningen i et vandløb ved at opdele denne i en "grundvandsdel" kaldet baseflow med relativt lave og konstante stofkoncentrationer, og en del der kaldes stormflow, som skal repræsentere den mere overfladenære afstrømning (overfladisk afstrømning, drænvand, og interflow) med mere variable og i perioder meget høje stofkoncentrationer (under regnvejr, snesmeltning osv.). Ved Skjern Å, Gjaldbæk er der som kriterium valgt, at døgnvandføringen skal stige

med mere end 100 l s⁻¹ på et døgn før en del vandføringen i det efterfølgende døgn regnes som stormflowvandføring. Når et døgn har stormflow fremskrives baseflowvandføringen fra det seneste døgn, der kun havde baseflow med 15% pr. døgn. Kriteriet i Omme Å, Sønderkov Bro var 50 l s⁻¹ og baseflow fremskrives under stormflow med 15% pr. døgn.

Hvad skal hydrografopsplitningen bruges til

Hydrografopsplitningen for Skjern, Gjaldbæk viser ikke overraskende, at stormflow har været dominerende i vinterhalvåret medens baseflow er dominerende i sommerhalvåret. Stormflow udgør dog kun en mindre del af afstrømningen i Skjern Å, der grundet sin størrelse og høje grundvandspåvirkning har relativt moderate vandføringsændringer fra døgn til døgn i modsætning til f.eks. mindre vandløb i lerede oplande, der har store stormflowandele (Larsen et al., 1995). Det skal understreges, at hydrografseparationer introduceres for at gøre data mere anvendelige til at modellere på, og at det derfor ikke er et forsøg på at give en beskrivelse af, hvordan man skal opdele afstrømningen i Skjern Å og Omme Å i dele.

De empiriske modeller for Skjern Å og Omme Å

Der er etableret nedenstående empiriske sammenhænge for Skjern Å, Gjaldbæk og Omme Å, Sønderkov Bro for døgnkoncentrationen af suspenderet transport (C_{SS}) og total fosfor (C_{TP}):

Skjern Å, Gjaldbæk:

$$\ln C_{SS} = -4,41 + 0,711 \cdot \ln Q_{ij} + \alpha_i + \beta_j \quad R^2=0,485 \quad P<0,001 \quad (21)$$

$$\ln C_{TP} = -7,48 + (0,531 + \gamma_i) \cdot \ln Q_{ij} + \alpha_i + \beta_j \quad R^2=0,544 \quad P<0,001 \quad (22)$$

Omme Å, Sønderkov Bro:

$$\ln C_{SS} = 0,48 + 0,223 \cdot \ln Q_{ij} + \alpha_i + \beta_j \quad R^2=0,269 \quad P<0,001 \quad (23)$$

$$\ln C_{TP} = -3,64 + 0,145 \cdot \ln Q_{ij} + \alpha_i + \beta_j \quad R^2=0,436 \quad P<0,001 \quad (24)$$

, hvor

i = månedsnummer (1,2,...,12)

j = 0 (baseflow) eller 1 (stormflow)

Q_{ij} = døgnvandføringen i en bestemt måned, hvor der enten er baseflow eller stormflow.

α_i = effekten af måneden

β_j = effekten af hydrografens hældning

γ_i = effekten af korrelationen mellem måneden og vandføringen.

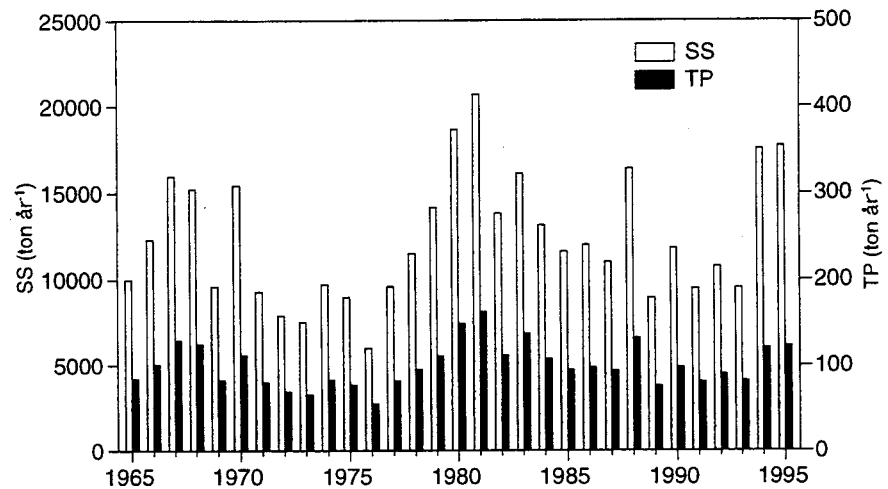
Parameterværdierne for α, β, γ fremgår af bilag 4, hvor de beregnede årstransporter med ligningerne 19-24 også findes.

Modellen forklarer således fra kun 27% (ligning 23) til 54% (ligning 22) af variationen, men er den bedst opnåelige med det foreliggende (meget intensivt målte) datamateriale. For Søndre Parallekanal beskrives dog 62 til 74% af variationen med de simple empiriske udtryk i ligning 19 og 20.

Stoftransport beregning

På basis af ligningerne 19-24 kan der beregnes koncentrationer til enhver vandføring og herfra også en døgntransport af suspenderet stof og total fosfor ved Skjern Å, Gjaldbæk; Omme Å, Sønderskov Bro og Søndre Parallelkanal, Lønborg Bro. Den samlede transport til den nedre del af Skjern Å-systemet er summen af bidraget fra de tre stationer. Der er anvendt de beregnede, korrigerede vandføringer for Skjern Å-systemet (figur 37).

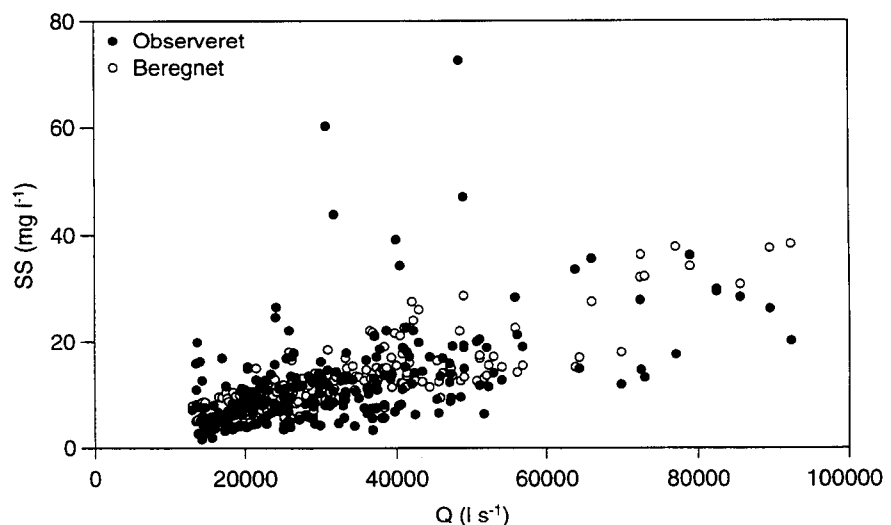
Figur 37 Beregnet årstransport af suspenderet stof og total fosfor i den nedre del af Skjern Å-systemet baseret på ligningerne 19-24



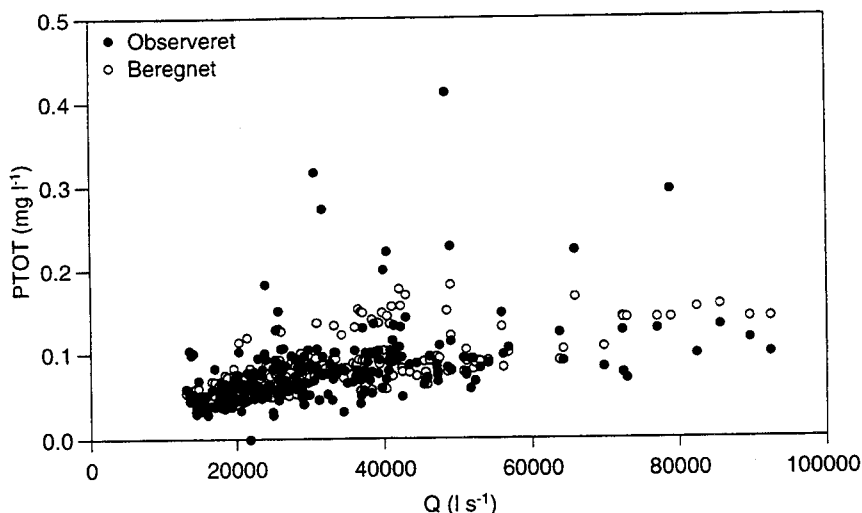
Sammenligning af modeller med målt koncentration

Sammenlignes de målte koncentrationer af suspenderet stof og total fosfor med hvad de empiriske modeludtryk forudsiger ved Skjern Å, Gjaldbæk (henholdsvis figur 38 og figur 39) så "fanger" de empiriske modeller ikke de højeste koncentrationer, der optræder i forbindelse med de første stormflow i efterårsperioden, hvor vandføringen kun er moderat høj. Der er ved opstillingen af de empiriske udtryk også forsøgt anvendt kvartaler eller perioden september til og med november som variable, uden at dette har øget modellernes forklaringsværdi. Det skal bemærkes, at variationen i koncentrationen med vandføringen ikke er ret stor i Skjern Å og Omme Å, hvilket giver større usikkerheder ved opstilling af empiriske relationer.

Figur 38 Observerede koncentrationer af suspenderet transport (•) i Skjern Å, Gjaldbæk og de tilsvarende koncentrationer (◦) estimeret med ligning 21



Figur 39 Observerede koncentrationer af total fosfor transport (•) i Skjern Å, Gjaldbæk og de tilsvarende koncentrationer (◦) estimeret med ligning 22.



Statistik på beregnede års-transporter

Årsminimum-, årsmaksimum- og normalårs-transporter er beregnet på grundlag af tidsserien af døgntransporter (tabel 22). Den arealspecifikke stoftransport er i et normalår på henholdsvis 50 kg SS ha⁻¹ år⁻¹ suspenderet stof og 0,41 P kg ha⁻¹ år⁻¹. Under Vandmiljøplanens Overvågningsprogram har det arealspecifikke tab af fosfor været 0,39 P kg ha⁻¹ år⁻¹ i dyrkede oplande uden punktkilder for perioden 1989-94 (der afstrømningsmæssigt har været lig normalen) (Larsen et al., 1995). I et normal år er den suspenderede transport godt 12.000 ton, men årstransporten har varieret mellem godt 6.000 ton til knap 21.000 ton i perioden 1965-95 (tabel 22).

Tabel 22 Årsminimum-, årsmaksimum og normalårs-transporter af suspenderet stof og total fosfor til den nedre del af Skjern Å-systemet baseret på tidsserien 1965 - 1995 og de empiriske ligninger 19-24.

	Suspenderet stof tons år ⁻¹	Total fosfor tons år ⁻¹	Suspenderet stof kg ha ⁻¹ år ⁻¹	Total fosfor kg ha ⁻¹ år ⁻¹
Årsminimum (1976)	6009	54	24,3	0,22
Årsmaximum (1981)	20679	162	83,7	0,66
Normalår	12220	100	49,5	0,41

Det bemærkes, at total fosfor transporten generelt udgør ca. 0,8-0,9% af den suspenderede transport.

Varighedskurver

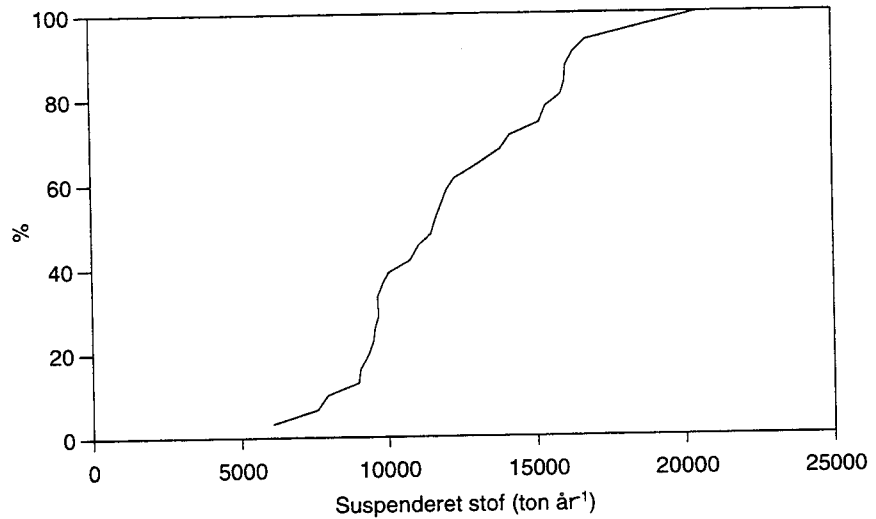
Varighedskurverne for de beregnede årstransporter af suspenderet stof og total fosfor til den nedre del af Skjern Å-systemet viser en jævn fordeling for de forskellige niveauer af transport af suspenderet stof og total fosfor (henholdsvis figur 40 og 41).

Månedstransporter af suspenderet stof og total fosfor

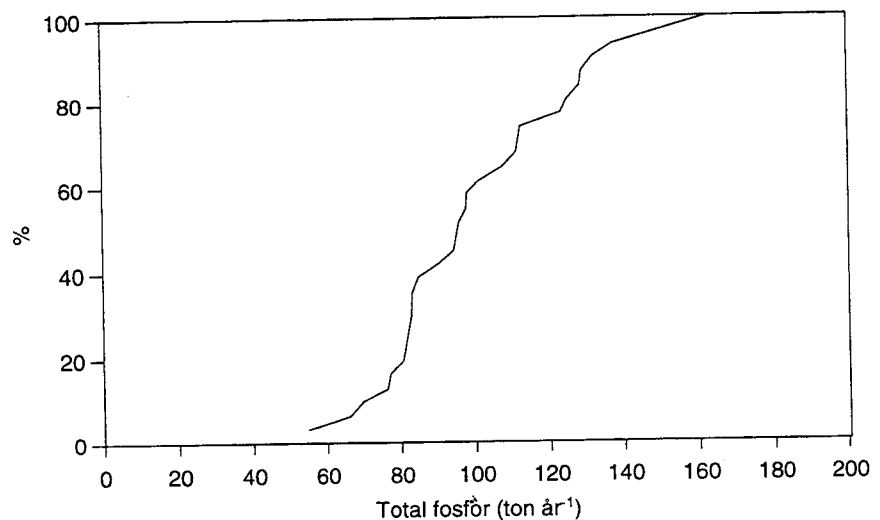
På grundlag af den beregnede tidsserie for 1965-1995 er der beregnet måneds-normaltransporter af suspenderet stof (figur 42) og total fosfor (figur 43). Den overvejende del af stoftransporten foregår i efterårs- og vintermånederne i forbindelse med høje afstrømninger, idet henholdsvis 67% og 66% af transporten af suspenderet stof og

total fosfor forekommer i perioden oktober til marts. En enkelt måned (december) har haft en transport af suspenderet stof svarende til 43% af et normal års samlede suspenderede stoftransport. Den tilsvarende værdi for fosfortransport i en måned (december) er 33%.

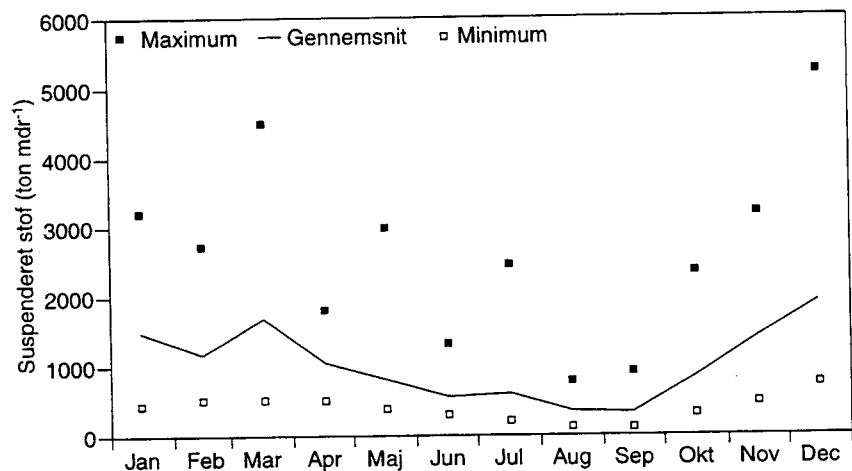
Figur 40 Varighedskurve for de beregnede årstransporter af suspenderet stof i den nedre del af Skjern Å-systemet baseret på ligning 19, 21 og 23.



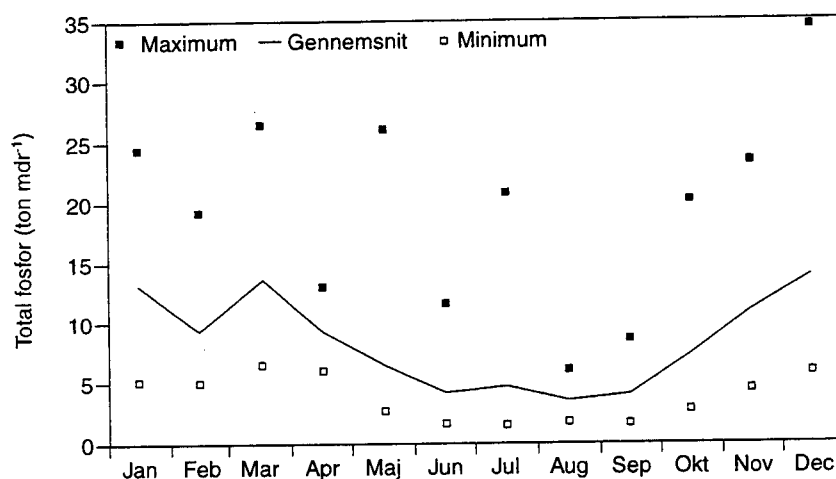
Figur 41 Varighedskurve for de beregnede årstransporter af total fosfor i den nedre del af Skjern Å-systemet baseret på ligning 20, 22 og 24



Figur 42 Beregnet månedsmaksimum, -minimum og -middel af suspenderet stoftransport i den nedre del af Skjern Å-systemet baseret på ligning 19, 21 og 23



Figur 43 Beregnet månedsmaksimum, -minimum og -middel af total fosfortransport i den nedre del af Skjern Å-systemet baseret på ligning 20, 22 og 24



Det er vigtigt påny at understrege at i denne beregning tilbage i tid er alle tiltag vedrørende dræning, vedligeholdelse af vandløb, udretning af vandløb, ændret dyrkningspraksis, reduceret punktkildebelastning, klimatiske ændringer (udover indflydelse på vandføringen) forudsat identiske med forholdene de to år som de empiriske relationer er baseret på. Af samme grund er det valgt ikke at beregne tilbage i tid før udretningen af Skjern Å.

Der er ikke lavet teoretiske transportberegninger

Af de omtalte teoretiske transportformler er det kun Wiuffs formel, der specifikt beregner den suspenderede transport (Wiuff, 1985). Wiuffs arbejde er baseret på forsøg med mindste middelkornstørrelse på 0,190 mm. For 1994 og 1995 rapporterer Petersen og Hasholt (1995) imidlertid middelkornstørrelser på sedimentet i suspension i Skjern Å og Omme Å på i gennemsnit ca. 0,040 mm. Endvidere omfatter Wiuffs formel kun den uorganiske del af sedimenttransporten. Der er derfor ikke gennemført teoretiske beregninger for den suspenderede transport.

5 Sammenfatning og konklusion

Prøvetagningsstrategi

Der er i perioden oktober 1993 til og med december 1995 foretaget målinger af vandføring og af koncentration af suspenderet stof og total fosfor i alle tilløb til den nedre del af Skjern Å-systemet: Tarm Bæk, Tarm Møllebæk, Ganer Å, Kirke Å, Søndre Parallelkanal ved Lønborg Bro, Omme Å ved Sønderskov Bro og Skjern Å ved Gjaldbæk. Stofkoncentration er ved de to hovedstationer - Skjern Å, Gjaldbæk og Omme Å, Sønderskov Bro - målt med en intensiv, puljet prøvetagningsstrategi og med punktprøver udtaget hver 14. dag. For de øvrige stationer er udtaget punktprøver månedligt i vinterhalvåret, sjældnere i sommerhalvåret. Der er ved alle stationer suppleret med dybdeintegrerede prøvetagninger med stort set samme målefrekvens som for punktprøverne. De to hovedstationer dækker 85% af afstrømningen i den nedre del af Skjern Å-systemet.

Definition af suspenderet transport

Suspenderet transport omfatter i denne undersøgelse uorganisk og organisk partikulært materiale transporteret i suspension (i svæv) i vandfasen.

Faldende reponstid på nedbør

En statistisk analyse af nedbør og afstrømning i den nedre del af Skjern Å indikerer, at responstiden for nedbør er faldet fra 2 døgn før udretningen af den nedre del af Skjern Å (1965-68) til 1 døgn efter denne.

Ny korrigeret vandførings-tidsserie for Skjern Å, Ahlergårde

En kritisk gennemgang af høje vandføringer ved Skjern Å, Ahlergårde viser, at tidligere anvendte døgnmiddelvandføringstidsserie for denne station har underestimeret de høje vandføringer. Der er foretaget en korrektion af Ahlergårde tidsserien tilbage til 1920 på basis af en sammenligning mellem den arealspecifikke døgnafstrømning ved Skjern Å, Kodbøl og Skjern Å, Ahlergårde i perioden 1974-1995. Baseret på korrigerede afstrømningsværdier beregnes en samlet middelfastømning i perioden 1971-90 fra Skjern Å-systemet (inklusive afstrømningen fra Søndre Parallelkanal, dvs. i alt 2470 km²) på 38,7 m³s⁻¹ eller 15,7 l s⁻¹ km⁻², som stort set svarer til de værdier Cowi-Consult (1987) har beregnet. Til gengæld bør den maksimale døgnafstrømning opjusteres fra Cowi-Consults (1987) godt 250 m³ s⁻¹ til cirka 320 m³s⁻¹ (130 l s⁻¹ km⁻²).

Årsmiddel- og årsminimumsdøgnvandføringen ved Skjern Å, Ahlergårde er signifikant stigende i perioden 1925-1964. For perioden 1965-1995 er der derimod ingen signifikante udviklingstendenser for hverken årsminimum, årsmaksimum eller årsmiddeldøgnvandføringen.

Intensiv, puljet prøvetagning giver væsentlig højere suspenderet stoftransport

Intensiv, puljet prøvetagning giver en væsentligt større suspenderet stoftransport end transport beregnet på grundlag af prøver udtaget hver 14. dag eller hver måned. Ved de to hovedstationer er der en forskel i transport af suspenderet stof på godt 60%. For transport af total fosfor var forskellen væsentlig mindre, ca. 6%. Hovedårsagen til forskellen mellem suspenderet stof og fosfor findes i kortvarige

høje koncentrationstoppe i forbindelse med flomepisoder, hvor også grovere partikler med lavt fosforindhold kan bringes i suspension.

Koncentrationsmåling i et punkt er repræsentativt for hele vandløbstværprofilet

Der kan ikke påvises forskelle i koncentrationen af suspenderet stof i forskellige profiler på tværs af de syv undersøgte vandløb. Der kan heller ikke påvises forskelle i suspenderet stofkoncentrationer bestemt ud fra dybdeintegrerede prøver og punktprøver. Der har heller ikke kunnet påvises signifikante forskelle i suspenderet stofkoncentrationer i forskellige dybdeniveauer i Skjern Å, Omme Å og Søndre Parallelkanal. Prøvetagningen i et punkt med en automatisk prøvetager er derfor repræsentativ for koncentrationsforholdene i hele tværprofilet.

Transporten af suspenderet stof og total fosfor i 1994 og 1995

I de to afstrømningsrige år 1994 og 1995 er transporten af suspenderet stof til den nedre del af Skjern Å-systemet bestemt til henholdsvis 19.400 tons og 18.900 tons. For total fosfor er transporterne de to år henholdsvis 127 tons og 129 tons. Organisk materiale har udgjort knap halvdelen af den suspenderede transport, mens opløst fosfor udgør henholdsvis 20% og 30% af total fosfortransport i Skjern Å og Omme Å. Hverken Skjern Å eller Omme Å synes at være begrænsede med hensyn til levering af suspenderet stof.

Opstilling af empiriske stofkoncentrationsligninger

På grundlag af koncentrationsmålingerne er der opstillet empiriske relationer mellem vandføring og koncentration af henholdsvis suspenderet stof og total fosfor for hvert af vandløbene Skjern Å, Gjaldbæk; Omme Å, Sønderskov Bro og Søndre Parallelkanal, Lønborg Bro. Summen af de tre stationer giver den samlede stoftransport i den nedre del af Skjern Å-systemet (ca. 2470 km²). De empiriske sammenhænge er baseret på månedsnummeret samt en opsplitning af hydrografen (vandafstrømningskurven) i et baseflow og et stormflow regime med BFI metoden (Clausen, 1995). På basis af den korrigerede vandføringstidsserie for Skjern Å, Ahlergårde er der beregnet stoftransport for perioden 1965-1995 under forudsætning af de nuværende hydrauliske, belastningsmæssige og arealudnyttelsesmæssige forhold har været gældende. Det er ikke en helt realistisk forudsætning, men giver et bedre statistisk grundlag for en vurdering af de forventede variationer i transporten af suspenderet stof og total fosfor, der kan anvendes som beregningsforudsætninger ved en kommende restaurering. Samtidig giver de beregnede transporter også et godt estimat af de historiske variationer i transporterne af suspenderet stof. Endelig vil der næppe ske store variationer i belastningen fra punktkilder i forhold til 1994 og 1995, hvilket gør datasættet fra disse år bedre egnet til scenarieanalyser frem for tal fra 1970'erne og 1980'erne.

Tidsserier og statistik for transport suspenderet stof og total fosfor i den nedre del af Skjern Å-systemet

De opstillede empiriske relationer beskriver mellem 40 og 70% af variationen, men relationerne er statistisk signifikant. Normalårstransporten for perioden 1965-95 beregnes til 12.600 tons suspenderet stof og 100 tons total fosfor, svarende til en arealspecifik årstransport på henholdsvis 50 kg ha⁻¹ suspenderet stof og 0,41 kg ha⁻¹ total fosfor. Der er tidligere kun foretaget ganske få faktiske målinger og disse har estimeret den suspenderede transport til at

ligge i intervallet 14.300 til 24.000 tons år^{-1} . Teoretiske bergninger giver en årsmiddel suspenderet stoftransport på 5.000 tons år^{-1} ; dvs. under halvdelen af det vores resultater viser. I 31 års-tidsserien har årstransporterne af suspenderet stof og total fosfor varieret mellem 0,5 og 1,7 gange normalårstransporten medens årsvandføringen tilsvarende varierer mellem 0,15 og 8,2 gange normalen. De empiriske relationer er opstillet på data målt i to afstrømningsrige år, og bør derfor på et senere tidspunkt justeres med målinger fra afstrømningsfattige og "-normale" år, såfremt der i fremtiden foretages yderligere målinger.

6 Referencer

- Ackers, P. and White, W.R. (1973):* Sediment transport: New Approach and analysis. ASCE, Hydraulic Div. No. 11:2041-2060.
- Aub-Robinson, C., Falkum, Ø., Hansen, C.D., Kronvang, B. & Svendsen, L.M. (1996):* Retention of particulate nutrients within aquatic macrophyte patches and on the floodplain. In: Kronvang, B. Svendsen, L.M. & Sibbesen, E. (eds): Sediment and Phosphorus. Erosion and delivery, transport and fate of sediments and sediment-associated nutrients in watersheds. Proceedings from a workshop held in Silkeborg, Denmark October 9-12, 1995. Ministry of Environment and Energy: p. 130-134: NERI Technical Report No. 178.
- Christensen, K.F., Jønch-Clausen, T., Mortensen, P. Og Hübertz Olsen, J. (1970):* Skjern Å, Eksamensprojekt, DTH.
- Clausen, B. (1995):* Discharge data collection and analysis strategies in low-flow studies. *Nordic Hydrology*, 26: 191-204.
- Cowi-Consult (1987):* Skjern Å-delta. Skjern Å og Sydlige Parallelkanals udløb i Ringkjøbing Fjord. Skitseprojekt.
- Dansk Standard, 207 (1985):* Vandundersøgelse. Suspenderet stof og gløderest. Dansk Standardiseringsråd, København.
- Dansk Standard 291 (1985):* Vandundersøgelse. Orthophosphatphosphor. Fotometrisk metode. DS 291 (2 ed.): 11 pp.
- Dansk Standard 292 (1985):* Vandundersøgelse. Total Phosphor. Fotometrisk metode. DS 292 (2 ed.): 12 pp.
- Engelund, F.A. & Pedersen, F.B. (1982):* Hydraulik. Danmarks Tekniske Højskole, 314 s.
- Engelund, F.A & Fredsøe, J. (1976):* A sediment transport model for straight alluvial streams. *Nordic Hydrology*, Vol. 7: 293-306.
- Engelund, F.A. og Hansen, E. (1967):* A monograph on Sediment Transport in Alluvial Streams. Teknisk Forlag, København.
- Fagdatacenter for hydrometriske data (1990):* Måleteknik og unøjagtigheder ved brug af hydrometrisk vinge. Publikation nr. 5, 30 s.
- Fredsø, J. (1984):* Sediment transport in currents and waves. Series paper No. 35, ISVA, DTH.
- Hasholt, B. og Jacobsen, J. (1977):* Skjernåsystemets Vandkemi. Rapport over delprojekt 5.

- Hedeselskabet (1987): Skjern Å skitseprojekt. Område Øst.*
- Hedeselskabet (1987): Skjern Å skitseprojekt. Hestholm.*
- Hedeselskabet (1994): Hedeselskabets hydrometrisystem HYMER. Dokumentation. Brugervejledning: 285 pp.*
- Hedeselskabet (1995): Stoftransportberegninger, Skjern Å, 1993-1995.*
- Græsbøll, P. et al. (1994): Ferske vandområder - Vandløb og kilder. Vandmiljøplanens Overvågningsprogram 1993. Danmarks Miljøundersøgelser. 186 s. - Faglig rapport fra DMU nr. 119*
- Jeppesen, E., Søndergaard, M., Kronvang, B., Jensen, J.P., Svendsen, L.M. & Lauridsen, T.L. (1997): Lake and Catchment Management in Denmark. In: Harper, D, Brierley, B., Ferguson, G. And Madgewick (Eds.), Ecological Basis for Lake and Reservoir Management, J. Wiley & Sons: in press.*
- Kendall, M.G. (1938): A new measure of rank correlation. Biometrika 30: 81-93.*
- Koroleff, H.R. (1983): Determination of phosphorus. Grashoff, K., Ehrhardt, M. And Kremling, K. (eds.): Methods of Seawater Analysis. 2nd rev. ed. Verlag Chemie, Weinheim, New York: 125-136.*
- Kronvang, B., Laubel, A. og Grant, R. (1997): Suspended sediment and particulate phosphorus transport and delivery pathways in an arable catchment, Gelbæk stream, Denmark. Hydrological Proc. (accepteret)*
- Kronvang, B. (1996): Suspended sediment and nutrient loads: Diffuse sources, delivery pathways, fate and management. PhD thesis, National Environmental Research Institute, Silkeborg, Denmark, 240 pp.*
- Larsen, S.E., Erfurt, J., Græsbøll, P., Kronvang, B., Mortensen, E., Nielsen, C.A., Ovesen, N.B., Paludan, C., Rebsdorf, Aa., Svendsen, L.M., Nyegaard, P. (1995): Ferske vandområder - Vandløb og kilder. Vandmiljøplanens Overvågningsprogram 1994. Danmarks Miljøundersøgelser. 196 s. - Faglig rapport fra DMU nr. 140.*
- Meyer-Peter, E. and Müller, R. (1948): Formular for Bed-load Transport. Proc. 3rd. Meet. Int. Ass. Hydr. Res., Stockholm.*
- Murphy, J. And Riley, J.P. (1962): A modified single solution for the determination of phosphate in natural waters. Anal. Chim. Acta. 27: 31-36.*
- Nilsson, B. (1969): Development of depth-integrating water sampler, UNGI rapport.*

Petersen, M.A. og Hasholt, B. (1995): Bundsedimenttransporten i den nedre del af Skjern Å. Geografisk Institut, Københavns Universitet, 65 pp. + 3 appendix.

Ringkjøbing Amt Amtskommune (1995): Vandmiljøovervågning. Kilder og vandløb 1994, Ringkjøbing Amtskommune, 56 pp.

Samfundsteknik A/S (1987): Skjern Å. Damsø-Tarm Sø - Nærrekreativt område.

Svendsen, L.M. og Kronvang, B. (1990): Tilbageholdelse af kvælstof, fosfor og organisk stof i Gjern Å: Vand og Miljø nr. 6: 207-211.

Svendsen, L.M. og Rebsdorf, Aa. (1994): Kvalitetssikring af overvågningsdata. Retningslinier for kvalitetssikring af ferskvandskemiske data: Vandmiljøplanens Overvågningsprogram. Danmarks Miljøundersøgelser. 88 s. - Teknisk anvisning fra DMU, nr. 7.

Svendsen, L.M. og Kronvang, B. (1993): Retention of nitrogen and phosphorus in a Danish lowland river system: implications for the export from the watershed. Hydrobiologia 251: 123-135.

Svendsen, L.M., Kronvang, B., Kristensen, P. and Græsbøl, P. (1995): Dynamics of phosphorus in a lowland river system: importance of retention and non-point sources. Hydrological Proc. 9: 119-142.

Svendsen, L.M. og Hansen, H.O. (eds.) (1997): Skjern Åens fysik, kemi og biologi. Sammenfatning af eksisterende viden om forholdene i den nedre del af Skjern Å-systemet (in press).

Wilson, E.M. (1983): Engineering Hydrology, 309 pp.

Wiuff, R. (1985): Transport of Suspended Material in Open and Submerged Streams. Journal of Hydraulic Engineering. Vol. 111, no. 5.

Bilag 1

Beregnete maksimum, minimum og døgnmiddelvandføringer for den nedre del af Skjern Å-systemet baseret på den korrigerede vandføringstidsserie ved Skjern Å, Ahlergårde.

År	Middel- vandføring	Minimum- vandføring	Maksimum- vandføring
1920	25182,1	15096,1	64753,6
1921	19815,5	11497,1	40475,6
1922	20278,6	13658,8	46083,1
1923	31838,5	13514,9	95120,2
1924	34368,1	16674,0	82871,4
1925	34589,1	14521,5	92921,4
1926	37993,3	17819,6	92371,4
1927	41205,0	18677,8	95120,2
1928	34127,9	15239,8	120989,1
1929	25369,1	5984,1	87693,6
1930	28712,9	13802,7	74449,2
1931	34094,5	18534,8	102964,7
1932	30385,3	13514,9	95120,2
1933	24562,8	14665,3	69467,3
1934	23601,5	8283,5	77213,2
1935	36973,4	12881,4	110530,3
1936	38079,8	16903,3	107513,3
1937	25786,9	15440,7	46922,7
1938	30420,0	10774,9	96219,1
1939	31979,0	14521,5	165036,3
1940	30625,7	13111,8	155735,8
1941	27334,1	14952,6	173834,4
1942	30120,3	14090,4	125741,5
1943	29891,7	13802,7	92096,5
1944	34015,1	14808,9	110530,3
1945	43168,9	22529,5	227363,5
1946	35259,6	17819,6	104414,9
1947	23591,9	14090,4	154265,9
1948	30627,1	14952,6	102964,7
1949	31926,5	15239,8	78594,2
1950	35642,0	17103,9	76246,1
1951	42943,1	20391,6	130046,4
1952	39837,0	16172,4	94295,7
1953	36675,6	19392,3	90170,9
1954	44721,5	17390,2	147892,3
1955	37863,6	18963,7	103134,7
1956	34025,3	17533,3	153285,9
1957	35739,1	18105,7	84663,3
1958	38910,0	19249,5	241416,2
1959	31559,6	16960,6	162100,8
1960	33141,6	16674,0	91546,4
1961	35967,0	19249,5	76107,9
1962	43914,5	20391,6	117374,3
1963	37692,6	19535,1	110530,3
1964	33400,9	18963,7	86316,6
1965	34323,9	18563,5	166992,5
1966	40378,8	22301,7	114074,1

År	Middel- vandføring	Minimum- vandføring	Maksimum- vandføring
1967	47078,0	23298,0	125949,3
1968	46835,0	25373,0	134188,2
1969	34780,2	17533,3	90721,2
1970	41438,7	18763,6	318828,1
1971	34259,7	16960,6	92371,4
1972	30947,2	19249,5	68636,1
1973	29557,0	13946,5	62532,3
1974	34298,4	14967,0	96631,0
1975	33273,8	13500,6	97043,0
1976	25334,1	10601,4	64365,0
1977	34258,4	17046,6	81492,3
1978	39589,6	21387,0	109427,2
1979	41009,6	20708,3	134822,9
1980	49352,6	17936,9	159970,6
1981	54367,4	30218,8	175717,1
1982	42267,2	16530,8	153882,7
1983	48059,8	20676,9	114306,1
1984	41342,8	15813,8	157385,8
1985	37728,5	16450,7	131966,4
1986	37956,6	17043,1	153589,3
1987	37758,7	20072,2	92017,0
1988	49429,3	20951,9	126022,3
1989	33329,6	16822,7	99384,1
1990	39140,9	15257,5	127078,7
1991	33667,6	15752,0	124268,0
1992	36638,4	13908,9	84178,1
1993	34690,4	14081,8	108529,9
1994	47964,5	17740,9	153144,4
1995	47232,5	18962,4	158941,8

Bilag 2

Hydrauliske parametre beregnet for de syv undersøgte vandløb i perioden 1993 til 1995. Se afsnit 4.6 for uddybende forklaring.

Vst.	= vandstand [m]
Q	= vandføring [$\text{m}^3 \text{s}^{-1}$]
A	= tværsnitarealet [m^2]
V_{middel}	= middelstrømhastighed [m s^{-1}]
B	= bredde [m]
D_{middel}	= middeldybde [m]
P	= våde perimeter [m]
R	= hydraulisk radius [m]
I	= vandspejlets hældning [‰]
M	= Manningtallet [$\text{m}^{1/3} \cdot \text{s}^{-1}$]
τ	= bundforskydningsspænding (shear stress) [N m^{-2}]

Skjern Å, Gjalbæk Bro

Dato	Måleprofil	Vst.	Q	A	Vmid-	B	Dmiddel	P	R	I	M	τ
		m	m ³ /s	m ²	m/s	m	m	m	m	%	m ¹ /3s-1	N/m ²
26-Okt-93	100 m op-	0.79	18.148	37.5	0.48	28.42	1.32	31.27	1.20	0.19	31	2.2
23-Nov-93	100 m op-	0.78	16.515	35.3	0.47	25.54	1.38	28.20	1.25	0.23	27	2.8
14-Dec-93	100 m op-	1.11	29.373	43.1	0.68	25.93	1.66	29.29	1.47	0.26	33	3.8
19-Jan-94	100 m op-	1.52	44.970	57.5	0.78	26.49	2.17	30.42	1.89	0.3	30	5.6
08-Feb-94	100 m op-	1.15	35.919	46.1	0.78	26.51	1.74	29.56	1.56	0.3	33	4.6
08-Mar-94	100 m op-	2.03	77.101	93.1	0.83	48.48	1.92	51.72	1.80	0.28	33	4.9
24-Mar-94	Broindløb	1.12	37.394	46.2	0.81	30.70	1.56	39.03	1.18	0.26	45	3.0
26-Maj-94	Broindløb	0.76	21.017	37.1	0.57	31.00	1.24	37.42	0.99	0.23	38	2.2
10-Aug-94	Broindløb	0.65	13.587	33.4	0.41	30.70	1.13	36.46	0.92	0.16	34	1.4
05-Okt-94	Broindløb	1.18	38.407	50.1	0.77	30.70	1.69	39.82	1.26	0.25	42	3.1
20-Okt-94	100 m	1.77	62.516	64.1	0.98	26.49	2.42	30.97	2.07	0.3	35	6.1
25-Okt-94	100 m	0.87	21.788	35.8	0.61	26.51	1.35	28.63	1.25	0.24	34	2.9
13-Dec-94	100 m op-	1.41	41.813	50.9	0.82	26.51	1.92	30.12	1.69	0.39	29	6.5
14-Feb-95	100 m op-	1.33	42.182	53.7	0.79	27.95	1.92	31.20	1.72	0.23	36	3.9
07-Mar-95	100 m op-	1.64	57.363	65.1	0.88	27.47	2.37	31.76	2.05	0.27	33	5.4
27-Mar-95	100 m op-	1.19	38.258	52.4	0.73	28.49	1.84	44.05	1.19	0.24	42	2.8

Ommø Å, Sønderskov Bro

Dato	måleprofil	Vst.	Q	A	Vmidde	B	Dmid-	P	R	I	M	τ
		m	m ³ /s	m ²	m/s	m	m	m	m	%	m ¹ /3s-1	N/m ²
27-Okt-93	100 m opstrøms bro	1.11	7.097	17.2	0.41	14.02	1.23	15.53	1.11	0.17	29	1.9
24-Nov-93	100 m opstrøms bro	0.87	5.439	15.3	0.36	12.98	1.18	17.61	0.87	0.17	30	1.5
14-Dec-93	100 m opstrøms bro	1.07	14.395	19.3	0.74	15.98	1.21	18.07	1.07	0.12	65	1.3
18-Jan-94	100 m opstrøms bro	1.22	14.744	23.2	0.63	16.96	1.37	19.05	1.22	0.27	34	3.2
10-Feb-94	100 m opstrøms bro	1.19	14.302	21.4	0.67	16.48	1.30	18.01	1.19	0.17	46	2.0
09-Mar-94	100 m opstrøms bro	1.76	28.557	39.1	0.73	19.00	2.06	22.23	1.76	0.16	40	2.8
10-Aug-94	Broindløb	0.54	3.412	10.2	0.34	14.40	0.74	16.75	0.61	0.37	24	2.2
05-Okt-94	Broindløb	1.13	13.213	20.0	0.66	16.05	1.30	20.64	0.97	0.36	35	3.4
26-Okt-94	100 m opstrøms bro	1.04	8.332	17.4	0.48	13.99	1.24	16.68	1.04	0.2	33	2.0
14-Dec-94	100 m opstrøms bro	1.45	17.911	27.6	0.65	16.51	1.67	19.01	1.45	0.22	34	3.1
03-Feb-95	Broindløb	1.76	25.408	29.1	0.87	16.05	1.87	23.00	1.26	0.24	48	3.0
15-Feb-95	100 m opstrøms bro	1.17	17.486	25.7	0.68	15.98	1.61	18.50	1.39	0.16	43	2.2
24-Mar-95	Broindløb	0.89	13.645	16.9	0.81	16.00	1.09	19.82	0.85	0.45	42	3.8
26-Mar-95	100 m opstrøms bro	0.98	13.954	21.7	0.64	10.03	2.16	17.06	1.27	0.2	39	2.5

Sdr. parallel kanal, Lønborg bro

Dato	Vst.	Q	A	Vmiddel	B	Dmiddel	P	R	I	M	τ
	m	m ³ /s	m ²	m/s	m	m	m	m	%	m ¹ /3s-1	N/m ²
21.03.94	0.70	6.879	26.1	0.26	30.23	0.86	35.40	0.74	0.1 (0.25)	32	0.7
04.05.94	0.53	2.749	24.0	0.11	28.50	0.84	33.55	0.71	0.1	14	0.7
10.08.94	0.83	2.337	33.5	0.07	29.70	1.13	36.47	0.92	0.1 (0.15)	7	0.9
05.10.94	0.90	8.880	32.2	0.28	29.50	1.09	36.05	0.89	0.1 (0.3)	30	0.9
02.11.94	0.93	8.405	34.1	0.25	32.65	1.04	38.92	0.88	0.1	27	0.9
07.12.94	0.70	7.792	26.6	0.29	28.30	0.94	33.95	0.78	0.1 (-0.01)	34	0.8
24.03.95	0.81	6.350	29.8	0.21	31.30	0.95	37.02	0.81	0.1 (-0.17)	25	0.8
27.09.95	0.57	3.471	31.5	0.11	30.10	1.05	36.38	0.87	0.1	12	0.9
25.10.95	0.37	2.815	25.3	0.11	29.80	0.85	34.90	0.73	0.1	14	0.7
22.11.95	0.39	4.718	25.1	0.19	29.00	0.86	34.18	0.73	0.1	23	0.7

Tarm Bæk

Dato	Vst.	Q	A	Vmiddel	B	Dmiddel	P	R	I	M	τ
	m	m ³ /s	m ²	m/s	m	m	m	m	%	m ¹ /3s-1	N/m ²
25-Jan-94	-	1.481	3.2	0.46	6.50	0.49	7.09	0.45	0.45	37	2.0
21-Mar-94	0.17	0.976	2.5	0.38	6.65	0.38	6.92	0.37	0.92	24	3.3
10-Aug-94	0.05	0.283	1.3	0.22	4.81	0.27	5.05	0.26	0.57	23	1.5
07-Dec-94	0.21	1.020	2.1	0.49	5.80	0.36	6.16	0.34	0.573	42	1.9
24-Mar-95	0.17	0.986	2.2	0.44	6.00	0.37	6.25	0.36	1.02	27	3.6

Tarm Møllebæk											
Dato	Vst.	Q	A	Vmiddel	B	Dmiddel	P	R	I	M	τ
	m	m ³ /s	m ²	m/s	m	m	m	m	%	m ¹ / ₃ s-1	N/m ²
25-Jan-94	0.48	0.969	1.1	0.86	2.75	0.41	3.47	0.33	0.543	77	1.8
21-Mar-94	0.43	0.766	1.0	0.79	2.75	0.35	3.20	0.30	0.603	72	1.8
04-Maj-94	0.39	0.404	2.0	0.20	4.48	0.45	4.80	0.42	0.476	16	2.0
04-Aug-94	0.34	0.191	1.9	0.10	4.40	0.43	4.73	0.40	0.442	9	1.7
24-Mar-95	0.45	0.597	2.4	0.25	4.55	0.52	4.95	0.48	0.514	18	2.4

Ganer Å											
Dato	Vst.	Q	A	Vmiddel	B	Dmiddel	P	R	I	M	τ
	m	m ³ /s	m ²	m/s	m	m	m	m	%	m ¹ / ₃ s-1	N/m ²
25-Jan-94	0.35	1.571	2.7	0.59	5.75	0.46	6.29	0.42	0.33	58	1.4
21-Mar-94	0.22	0.982	2.2	0.45	6.55	0.33	6.88	0.31	0.807	35	2.5
04-Aug-94	0.30	0.510	2.8	0.18	7.65	0.36	7.81	0.36	0.72	13	2.5
05-Okt-94	0.28	1.155	2.7	0.44	7.50	0.35	7.68	0.34	0.52	40	1.7
07-Dec-94	0.28	1.330	2.7	0.49	6.83	0.40	7.08	0.39	0.38	47	1.5
24-Mar-95	0.24	1.150	2.3	0.49	6.58	0.35	6.74	0.35	0.72	37	2.5

Kirke Å

Dato	Vst.	Q	A	Vmiddel	B	Dmiddel	P	R	I	M	T
	m	m ³ /s	m ²	m/s	m	m	m	m	%	m ¹ /3s-1	N/m ²
25-Jan-94	-	0.981	2.3	0.43	4.65	0.49	5.36	0.43	1.38	20	5.8
21-Mar-94	-	0.696	1.7	0.40	4.75	0.36	5.17	0.33	1.14	25	3.7
04-Maj-94	-	0.312	1.4	0.23	4.75	0.29	5.05	0.27	1.14	16	3.0
04-Aug-94	-	0.210	1.2	0.18	4.52	0.25	4.77	0.24	0.85	16	2.0
07-Dec-94	-	0.554	1.7	0.32	4.90	0.36	5.34	0.33	0.95	22	3.1

Bilag 3

Målinger af den suspendede stofkoncentration med Nilsson dybdeintegreret prøvetager. s er standardafvigelsen, X middelværdien af de n profiler hvori der er taget dybdeintegrede prøver og CV er variationskoefficienten (s/X).

Skjern Å, Gjaldbæk: For $n=3$ er der målt ved afstanden 17,5 m; 30,0 m og 40,0 m fra venstre brink. For $n=7$ er der målt ved: 17,5m; 20,0m; 22,0 m; 28,0 m; 30,0 m; 37,0 m og 40,0 m fra venstre brink (set opstrøms).

Dato	n	s(mg l ⁻¹)	X(mg l ⁻¹)	CV (%)
931028	7	0,3450	4,0	8,6
934209	3	0,3606	10,1	3,6
940105	3	0,2000	8,5	2,4
940426	7	0,3716	6,9	5,4
940209	3	0,2517	4,9	5,1
940223	3	0,5292	7,9	6,7
940302	7	0,5851	7,0	8,4
940504	7	0,3094	9,8	3,2
940804	3	1,0149	3,1	32,7
941005	3	0,4000	5,4	7,4
941207	7	0,3464	11,6	3,0
950202	7	0,4163	15,2	2,7
950325	3	5,2205	15,5	33,6

Omme Å, Sønderskov. Der er målt ved 7,5m; 9,5 m; 12,0 m; 15,0 m; 17,5 m og 20,0 m fra venstre brink (set opstrøms).

Dato	n	s(mg l ⁻¹)	X(mg l ⁻¹)	CV(%)
931029	6	0,4491	4,2	10,9
940126	6	0,3882	3,7	10,4
940322	6	0,7679	1,3	58,3
940504	6	0,3430	7,1	4,8
941207	6	1,8576	17,7	10,5
950202	6	1,7140	7,6	22,5

Søndre Parallelkanal, Lønborg Bro. Der er målt ved 12,5 m; 21,0 m; 25,0 m og 34,0 m fra venstre brink (set opstrøms).

Dato	n	s(mg l ⁻¹)	X(mg l ⁻¹)	CV(%)
931029	4	0	2,0	0
940126	4	6,6496	26,0	25,6
940321	4	2,4226	6,5	37,1
940504	4	0,5058	3,6	14,1
941207	4	0,8406	10,5	8,0
950202	4	0,9592	10,5	9,1

Tarm Bæk, Omfartvejen. Oversigt over koncentration af suspenderet stof (mg l^{-1}) udtaget med dybdeintegreret prøvetager (afstand set opstrøms).

Dato	afstand=2,0 m	afstand=5,3 m	afstand=3,3 m
931029	12,7	12,0	12,3
940125	7,0	8,7	9,7
940321	6,3	4,7	-
940504	3,7	3,3	3,3
940622	8,4	7,4	8,2
951207	9,6	9,6	10,0
950202	9,4	9,6	9,8

Tarm Møllebæk, Kyvling Bro. Oversigt over koncentration af suspenderet stof (mg l^{-1}) udtaget med dybdeintegreret prøvetager (afstand set opstrøms).

Dato	afstand=1,5m	afstand=3,0 m
931029	5,0	4,5
940125	3,7	12,3
940321	3,0	3,7
940504	3,0	3,3
951207	4,2	4,8
950202	4,6	4,0

Ganer Å, Amager Bro. Oversigt over koncentration af suspenderet stof (mg l^{-1}) udtaget med dybdeintegreret prøvetager (afstand set opstrøms).

Dato	afstand=2,0 m	afstand=5,3 m	afstand=3,3 m
931029	4,7	4,7	2,8
940125	16,3	13,0	15,4
940321	5,7	3,3	7,3
940504	9,0	8,3	8,0
951207	8,8	9,4	9,4
950202	10,6	10,4	10,2

Kirke Å, Kirkestien. Oversigt over koncentration af suspenderet stof (mg l^{-1}) udtaget med dybdeintegreret prøvetager (afstand set opstrøms).

Dato	afstand=1,35m	afstand =3,15 m
931029	4,2	4,5
940125	14,3	15,0
940321	7,0	3,6
940504	1,7	4,3
951207	29,2	29,7
950202	14,4	14,2

Bilag 4

Årstransport af suspenderet stof og total fosfor til den nedre del af Skjern Å-systemet (sum af transporterne ved Skjern Å, Gjaldbæk; Omme Å, Sønderskov Bro og Søndre Parallelkanal, Lønborg Bro). For 1994 og 1995 er angivet de målte værdier - for øvrige år er transporterne beregnet ved regressionsudtrykkene udviklet i rapporten (ligning 19-24).

Endvidere er givet parameterverdier til de empiriske formler for koncentrationer af suspenderet stof (SS) og total fosfor (TP) i Skjern Å, Gjaldbæk (DMU nr. 250097), Omme Å, Sønderskov Bro (DMU nr. 2500789) og Søndre Parallelkanal, Lønborg Bro (DMU nr. 250100). Parametrene MD, HYD og LOGQ*MD nævnt i bilaget svarer til parametrene α , β og γ benyttet i rapporten.

År	Suspenderet transport tons år ⁻¹	Total fosfor transport tons år ⁻¹
1925	9971	84,4
1926	10815	93,4
1927	12376	104,2
1928	10537	87,1
1929	6785	58,4
1930	7192	64,2
1931	9814	83,7
1932	8171	72,5
1933	5740	51,7
1934	5639	51,8
1935	11227	94,9
1936	11669	95,3
1937*)	5828	52,1
1938	8833	76,1
1939	9615	79,3
1940*)	9665	76,1
1941*)	190	60,2
1942*)	8576	70,8
1943	7561	66,3
1944	9290	80,4
1945	13975	111,0
1946	9450	82,3
1947	5830	50,0
1948	7810	68,4
1949	8391	72,9
1950	9549	82,9
1951	13789	108,7
1952	11462	97,8
1953	9967	84,8
1954	15000	123,3
1955	11180	93,5
1956	9448	79,3
1957	9512	82,9
1958	11992	96,7
1959	8639	73,4
1960	9460	80,5
1961	9910	85,2
1962	13660	112,4
1963	10905	92,2
1964	8836	76,8
1965	9987	84,1
1966	12329	100,8
1967	15956	129,1
1968	15217	124,7
1969	9606	82,9
1970	13955	106,2
1971	9301	79,8

År	Suspenderet transport tons år ⁻¹	Total fosfor transport tons år ⁻¹
1972	7903	69,1
1973	7538	65,8
1974	9713	82,6
1975	8994	76,9
1976	6009	54,4
1977	9606	81,5
1978	11520	95,3
1979	14179	110,8
1980	18658	148,7
1981	20679	162,5
1982	13826	112,0
1983	16135	137,3
1984	13140	107,3
1985	11639	94,6
1986	12025	97,6
1987	11024	93,6
1988	16384	132,0
1989	8951	75,8
1990	11823	97,7
1991	9490	80,7
1992	10753	90,0
1993	9533	82,2
1994	17521	120,6
1995	17696	122,6

Ved de med *) markerede år har der været huller i vandføringstids-serien for Skjern Å, Ahlergårde ud fra hvilken vandføringstidsserierne for Skjern Å, Gjaldbæk, Omme Å, Sønderskov Bro og Søndre Parallelkanal, Lønborg Bro er dannet tilbage i tid. Årstransporterne disse år er beregnet under forudsætning af at transporten beregnet for de dage, hvor der har været vandføringsmålinger, er gennemsnitlig for året. Den beregnede transport er derfor opskaleret til at dække 365 dage.

Skjern Å, Gjaldbæk - suspenderet stof

250102

General Linear Models Procedure

Dependent Variable: LOGSS	
Source	DF
Model	13
Error	274
Corrected Total	287
R-Square	C.V.
0.484552	19.61655
	Root MSE
	0.44152160
	LOGSS Mean
	2.25076103

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
LOGQ	1	33.06632415	33.06632415	169.62	0.0001
MD	11	13.62138394	1.23830763	6.35	0.0001
HYD	1	3.52461171	3.52461171	18.08	0.0001
Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
LOGQ	1	7.71938812	7.71938812	39.60	0.0001
MD	11	14.19693478	1.29063043	6.62	0.0001
HYD	1	3.52461171	3.52461171	18.08	0.0001

Parameter	Estimate	T for H0: Parameter=0	Pr > T	Std Error of Estimate
INTERCEPT	-4.411336407 B	-3.68	0.0003	1.199953333
LOGQ	0.710559092	6.29	0.0001	0.11291736
MD	-0.250227074 B	-2.08	0.0388	0.12053136
1	-0.327253096 B	-2.48	0.0139	0.13218343
2	-0.164282806 B	-1.38	0.1702	0.11946314
3	-0.061486418 B	-0.46	0.6466	0.13395228
4	0.046460178 B	0.35	0.7263	0.13260864
5	0.056839472 B	0.48	0.6340	0.11923566
6	0.111254071 B	0.80	0.4232	0.13869553
7	-0.355050489 B	-2.81	0.0053	0.12643921
8	-0.686235941 B	-6.16	0.0001	0.11142361
9	-0.363062207 B	-3.00	0.0029	0.12101121
10	-0.105734918 B	-0.90	0.3671	0.11703263
11	0.000000000 B			
12	-0.466492695 B	-4.25	0.0001	0.10970872
HYD	0.000000000 B			
0				
1				

NOTE: The X'X matrix has been found to be singular and a generalized inverse was used to solve the normal equations. Estimates followed by the letter 'B' are biased, and are not unique estimators of the parameters.

Skjern Å, Gjaldbæk - Total P

General Linear Models Procedure

Dependent Variable: LOGPTOT

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	24	26.06171310	1.08590471	12.98	0.0001
Error	261	21.83755348	0.08366879		
Corrected Total	285	47.89926658			
R-Square		C.V.	Root MSE		LOGPTOT Mean
	0.544094	-11.00546	0.28925557		-2.62829218

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
LOGQ	1	15.12438479	15.12438479	180.76	0.0001
MD	11	6.11248290	0.55568026	6.64	0.0001
HYD	1	2.58306264	2.58306264	30.87	0.0001
LOGQ*MD	11	2.24178276	0.20379843	2.44	0.0066
Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
LOGQ	1	2.16443362	2.16443362	25.87	0.0001
MD	11	2.21779860	0.20161805	2.41	0.0073
HYD	1	3.03106928	3.03106928	36.23	0.0001
LOGQ*MD	11	2.24178276	0.20379843	2.44	0.0066

Parameter	Estimate	T for H0: Parameter=0	Pr > T	Std Error of Estimate
INTERCEPT	-7.479161665 B	-4.29	0.0001	1.74159182
LOGQ	0.531092751 B	3.15	0.0018	0.16835561
MD	2.091664796 B	0.63	0.5322	3.34436153
1	1.038959735 B	0.35	0.7252	2.95227128
2	5.801341020 B	2.49	0.0135	2.33304265
3	7.272647357 B	1.33	0.1854	5.47763212
4	-6.757563608 B	-1.03	0.3034	6.55354918
5	-9.749321817 B	-2.59	0.0102	3.76572695
6	-2.958079640 B	-0.68	0.4980	4.35916924
7	5.329192537 B	1.46	0.1459	3.65406168
8	1.438898058 B	0.59	0.5556	2.43815669
9	-2.457914758 B	-0.73	0.4671	3.37528620
10				

General Linear Models Procedure

Dependent Variable: LOGPTOT

Parameter	Estimate	T for H0: Parameter=0	Pr > T	Std Error of Estimate
MD 11	0.752825860 B	0.24	0.8113	3.14973211
MD 12	0.000000000 B	.	.	.
HYD 0	-0.451299346 B	-6.02	0.0001	0.07498053
LOGQ*MD 1	0.000000000 B	.	.	.
LOGQ*MD 2	-0.210867395 B	-0.67	0.5060	0.31661606
LOGQ*MD 3	-0.13099739 B	-0.47	0.6393	0.27917935
LOGQ*MD 4	-0.55895279 B	-2.51	0.0125	0.22230146
LOGQ*MD 5	-0.710098695 B	-1.35	0.1783	0.52617707
LOGQ*MD 6	0.65944143 B	1.02	0.3088	0.64721495
LOGQ*MD 7	0.964579245 B	2.58	0.0104	0.37369656
LOGQ*MD 8	0.305157210 B	0.68	0.4943	0.44579399
LOGQ*MD 9	-0.573511048 B	-1.54	0.1251	0.37275267
LOGQ*MD 10	-0.190305160 B	-0.80	0.4252	0.23828434
LOGQ*MD 11	0.216377214 B	0.65	0.5186	0.33475285
LOGQ*MD 12	-0.076918133 B	-0.25	0.8034	0.30864114
LOGQ*MD 12	0.000000000 B	.	.	.

NOTE: The X'X matrix has been found to be singular and a generalized inverse was used to solve the normal equations. Estimates followed by the letter 'B' are biased, and are not unique estimators of the parameters.

Omme Å, Sønderkov - suspenderet stof

250102

General Linear Models Procedure

Dependent Variable: LOGSS

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	13	38.94236089	2.99556622	13.81	0.0001
Error	232	50.31351548	0.21686860		
Corrected Total	245	89.25587637			
R-Square		C.V.	Root MSE		LOGSS Mean
	0.436300	25.00097	0.46569153		1.86269382

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
LOGQ	1	14.58917611	14.58917611	67.27	0.0001
MD	11	22.75055066	2.06823188	9.54	0.0001
HYD	1	1.60263412	1.60263412	7.39	0.0071
Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
LOGQ	1	1.19858212	1.19858212	5.53	0.0196
MD	11	23.10653180	2.10059380	9.69	0.0001
HYD	1	1.60263412	1.60263412	7.39	0.0071

Parameter	Estimate	T for H0: Parameter=0	Pr > T	Std Error of Estimate
INTERCEPT	0.485983488 B	0.53	0.5966	0.91687368
LOGQ	0.223117581	2.35	0.0196	0.09490700
MD	-0.658422328 B	-5.01	0.0001	0.13132954
1	-0.591371083 B	-4.04	0.0001	0.14625086
2	-0.363824921 B	-2.83	0.0051	0.12861038
3	-0.562882335 B	-3.66	0.0003	0.15372694
4	-0.274978009 B	-1.82	0.0698	0.15092545
5	-0.540744298 B	-3.73	0.0002	0.14488896
6	-0.697879989 B	-3.98	0.0001	0.17516452
7	-1.003221987 B	-6.68	0.0001	0.15016400
8	-0.965275568 B	-7.36	0.0001	0.13116963
9	-0.568832620 B	-4.60	0.0001	0.12352800
10	-0.119548225 B	-0.93	0.3511	0.12794396
11	0.000000000 B			
12	-0.237008523 B			
HYD	0.000000000 B			
0				
1				

NOTE: The X'X matrix has been found to be singular and a generalized inverse was used to solve the normal equations. Estimates followed by the letter 'B' are biased, and are not unique estimators of the parameters.

250102

General Linear Models Procedure

Dependent Variable: LOGPTOT

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	13	10.85613120	0.83508702	6.54	0.0001
Error	231	29.50917164	0.12774533		
Corrected Total	244	40.36530284			
R-Square		C.V.	Root MSE		LOGPTOT Mean
	0.268947	-13.63754	0.35741479		-2.62081566

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
LOGQ	1	5.00225218	5.00225218	39.16	0.0001
MD	11	5.17800405	0.47072764	3.68	0.0001
HYD	1	0.67587496	0.67587496	5.29	0.0223
Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
LOGQ	1	0.50738220	0.50738220	3.97	0.0474
MD	11	5.17439604	0.47039964	3.68	0.0001
HYD	1	0.67587496	0.67587496	5.29	0.0223

Parameter	Estimate	T for H0: Parameter=0	Pr > T	Std Error of Estimate
INTERCEPT	-3.635905510 B	-5.16	0.0001	0.70452125
LOGQ	0.145339476	1.99	0.0474	0.07292702
MD	-0.232117854 B	-2.30	0.0222	0.10080480
1	-0.339837578 B	-3.03	0.0027	0.11226156
2	-0.093157617 B	-0.94	0.3464	0.09872383
3	-0.260127890 B	-2.20	0.0285	0.11798586
4	-0.054603227 B	-0.47	0.6378	0.11583781
5	-0.270499205 B	-2.43	0.0158	0.11120715
6	-0.314304215 B	-2.26	0.0250	0.13932225
7	-0.386743625 B	-3.35	0.0009	0.11528432
8	-0.430826484 B	-4.28	0.0001	0.10067637
9	-0.276169419 B	-2.91	0.0039	0.09480899
10	-0.011686904 B	-0.12	0.9054	0.09820132
11	0.000000000 B			
12	-0.153953461 B	-2.30	0.0223	0.06693123
HYD	0.000000000 B			

NOTE: The X'X matrix has been found to be singular and a generalized inverse was used to solve the normal equations. Estimates followed by the letter 'B' are biased, and are not unique estimators of the parameters.

Søndre Parallelkanal, Lønborg Bro - suspenderet stof

250100

General Linear Models Procedure

Dependent Variable: LOGSS

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	1	6.01599009	6.01599009	19.28	0.0009
Error	12	3.74491359	0.31207613		
Corrected Total	13	9.76090368			
R-Square		C.V.	Root MSE		LOGSS Mean
	0.616335	33.01646	0.55863775		1.69199753

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
LOGQ	1	6.01599009	6.01599009	19.28	0.0009
Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
LOGQ	1	6.01599009	6.01599009	19.28	0.0009

Parameter	Estimate	T for H0: Parameter=0	Pr > T	Std Error of Estimate
INTERCEPT	-6.090691662	-3.42	0.0050	1.77885895
LOGQ	0.895230739	4.39	0.0009	0.20389741

250100 Phosphor

Søndre Parallelkanal, Lønborg Bro - Total P

General Linear Models Procedure

Dependent Variable: LOGPTOT

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	1	1.98573068	1.98573068	33.85	0.0001
Error	12	0.70393522	0.05866127		
Corrected Total	13	2.68966589			

R-Square	C.V.	Root MSE	LOGPTOT Mean
0.738282	-9.346923	0.24220088	-2.59123664

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
LOGQ	1	1.98573068	1.98573068	33.85	0.0001
Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
LOGQ	1	1.98573068	1.98573068	33.85	0.0001

Parameter	Estimate	T for H0: Parameter=0	Pr > T	Std Error of Estimate
INTERCEPT	-7.062562311	-9.16	0.0001	0.77123540
LOGQ	0.514329699	5.82	0.0001	0.08840099

Danmarks Miljøundersøgelser

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

Henvendelser kan rettes til:

Danmarks Miljøundersøgelser *Direktion og Sekretariat*
Postboks 358 *Forsknings- og Udviklingssekretariat*
Frederiksborgvej 399 *Afd. for Atmosfærisk Miljø*
4000 Roskilde *Afd. for Havmiljø og Mikrobiologi*
Afd. for Miljøkemi
Tlf. 46 30 12 00 *Afd. for Systemanalyse*
Fax 46 30 11 14

Danmarks Miljøundersøgelser *Afd. for Vandløbsøkologi*
Postboks 314 *Afd. for Sø- og Fjordøkologi*
Vejlsovej 25 *Afd. for Terrestrisk Økologi*
8600 Silkeborg

Tlf. 89 20 14 00
Fax 89 20 14 14

Danmarks Miljøundersøgelser *Afd. for Kystzoneøkologi*
Grenåvej 12, Kalø *Afd. for Landskabsøkologi*
8410 Rønde

Tlf. 89 20 17 00
Fax 89 20 15 14

Danmarks Miljøundersøgelser *Afd. for Arktisk Miljø*
Tagensvej 135, 4.
2200 København N

Tlf. 35 82 14 15
Fax 35 82 14 20

Publikationer:

DMU udgiver faglige rapporter, tekniske anvisninger, tema-rapporter, arbejdsrapporter, særtryk af videnskabelige og faglige artikler, samt årsberetninger.

I årsberetningen findes en oversigt over det pågældende års publikationer. Årsberetning samt en opdateret oversigt over årets publikationer fås ved henvendelse til telefon: 46 30 12 00.

Faglige rapporter fra DMU/NERI Technical Reports

1996

- Nr. 150: The Danish Air Quality Monitoring Programme. Annual report 1994. By Kemp, K. et al. 66 p., DKK 80,00.
- Nr. 151: Vandløbsrestaurering - eksempler og erfaringer fra Danmark. Af Hansen, H.O. (red.). 136 s., 100,00 kr.
- Nr. 152: Rådyrjagten i Danmark 1993/94. Af Asferg, T. & Jeppesen, J.L. 40 s., 50,00 kr.
- Nr. 153: Control of Pesticides 1995. By Køppen, B. 26 p., DKK 40,00.
- Nr. 154: Territoriality, breeding ranges and relationship between the sexes in a Danish wild pheasant (*Phasianus colchicus*) population. By Clausager, I. et al. 44 p., DKK 45,00.
- Nr. 155: Fredningen ved Saltholm og risiko for bird-strikes i Københavns Lufthavn. Af Noer, H. & Christensen, T.K. 44 s., 50,00 kr.
- Nr. 156: Oil Exploration in the Fylla Area. By Mosbech, A. et al. 92 p., DKK 100,00.
- Nr. 157: Monitorering af tungmetaller i danske dyrknings- og naturjorder. Prøvetagning i 1992/1993. Af Larsen, M.M. et al. 78 s., 100,00 kr.
- Nr. 158: Fuglelivet omkring Rønland, Harboør Tange. Af Clausen, P., et al. 48 s., 45,00 kr.
- Nr. 159: Kortlægning af tålegrænser for svovl og kvælstof. Af Bak, J. 110 s., 150,00 kr.
- Nr. 160: Miljøundersøgelser ved Maarmorilik 1995. Af Riget, F. et al. 91 s., 100,00 kr.
- Nr. 161: Ammoniak og naturforvaltning. Af Strandberg, M. 58 s., 100,00 kr.
- Nr. 162: Environmental impacts of shipping to and from Citronen Fjord. By Boertmann, D. 35 p., DKK 40,00.
- Nr. 163: Modellering af bygge- og anlægssektorens materialeforbrug. Af Wier, M. 122s., 75,00 kr.
- Nr. 164: BASIS. En konsekvensanalysemodel for forbrug af byggematerialer. Af Wier, M. 109 s., 75,00 kr.
- Nr. 165: Omkostninger ved reduktion af næringsstofbelastningen af havområderne. Af Paaby, H. et al. 187 s., 150,00 kr.
- Nr. 166: Analyse af dioxin og pentachlorphenol i nye tekstiler. Af Vikelsøe, J. & Johansen, E. 46 s., 40,00 kr.
- Nr. 167: Fejlkilder i den danske vildtudbyttestatistik. Af Asferg, T. 27 s., 40,00 kr.
- Nr. 168: Vingeindsamling fra jagtsæsonen 1995/1996 i Danmark. Af Clausager, I. 41 s., 35,00 kr.
- Nr. 169: Effects of fitting dummy satellite transmitters to geese. A pilot project using radio telemetry on wintering Greenland White-fronted geese. By Glahder, C. et al. 38 p., DKK 40,00.
- Nr. 170: Seabird colonies in western Greenland. By Boertmann, D. et al. 148 p., DKK 100,00.
- Nr. 171: Overvågning af odder (*Lutra lutra*) i Karup Å, Hvidbjerg Å/Thy, Ryå og Skals Å, 1985-1994. Af Madsen, A.B. et al. 42 s., 45,00 kr.
- Nr. 172: Overvågning af odder (*Lutra lutra*) i Danmark 1996. Af Hammershøj, M. et al. 43 s., 45,00 kr.
- Nr. 173: Atmosfærisk deposition af kvælstof. Vandmiljøplanens Overvågningsprogram 1995. Hovedrapport og bilagsrapport. Af Skov, H. et al. 84 s. + 282 s., 100,00 kr. + 300,00 kr.
- Nr. 174: Atmosfærisk deposition af kvælstof. Målemetoder og modelberegninger. Af Ellermann, T. et al. 56 s., 70,00 kr.
- Nr. 175: Landovervågningsoplade. Vandmiljøplanens Overvågningsprogram 1995. Af Grant, R. et al. 150 s., 125,00 kr.
- Nr. 176: Ferske vandområder. Søer. Vandmiljøplanens Overvågningsprogram 1995. Af Jensen, J.P. et al. 96 s., 125,00 kr.
- Nr. 177: Ferske vandområder. Vandløb og kilder. Vandmiljøplanens Overvågningsprogram 1995. Af Windolf, J. (red.). 228 s., 125,00 kr.
- Nr. 178: Sediment and Phosphorus. Erosion and Delivery, Transport and Fate of Sediments and Sediment-associated Nutrients in Watersheds. Proceedings from an International Workshop in Silkeborg, Denmark, 9-12 October 1995. Af Kronvang, B. et al. 150 pp., 100,00 DKK.
- Nr. 179: Marine områder. Danske fjorde - status over miljøtilstand, årsagssammenhænge og udvikling. Vandmiljøplanens Overvågningsprogram 1995. Af Kaas, H. et al. 205 s., 150,00 kr.
- Nr. 180: The Danish Air Quality Monitoring Programme. Annual Report for 1995. Kemp, K. et al. 55 pp., 80,00 DKK.
- Nr. 181: Dansk Fauna Indeks. Test og modifikationer. Af Friberg, N. et al. 56 s., 50,00 kr.

1997

- Nr. 182: Livsbetingelserne for den vilde flora og fauna på braklagte arealer - En litteraturudredning. Af Mogensen, B. et al. 165 pp., 90,00 DKK.
- Nr. 183: Identification of Organic Colourants in Cosmetics by HPLC-Photodiode Array Detection. Chemical Substances and Chemical Preparations. By Rastogi, S.C. et al. 233 pp., 80,00 DDK.

