GUDENÅUNDERSØGELSEN

KILDER SØER OG VANDLØB
Samlerapport

G U D E N Å U N D E R S Ø G E L S E N

1973 - 1975

SAMLERAPPORT

RAVNSØ, UDLØB VED BENSMØLLEVAD BRO.

VANDKVALITETSINSTITUTTET, ATV
Agern Allé 11, 2970 Hørsholm

FORORD

VED KONFERENCER OM "FORURENINGEN AF GUDENÅSYSTEMET" I SILKEBORG DEN 2. MARTS 1972 OG DEN 24. MAJ 1973, HVORI DELTOG REPRÆSENTANTER FOR DE 3 AMTSKOMMUNER OG DE 34 PRIMÆRKOMMUNER I GUDENÅSYSTEMETS OPLAND SAMT REPRÆSENTANTER FRA MINISTERIER OG MYNDIGHEDER MED TILKNYTNING TIL PLANLÆGNING, FREDNING OG MILJØ, ENEDES MAN OM

> AT TILVEJEBRINGE ET UNDERSØGELSESMATERIALE, DER KUNNE GIVE EN SAMLET VIDEN OM SYSTEMETS FORURENINGSTILSTAND OG OM SYSTEMETS REAKTION PÅ DE TILFØRTE FORURENINGER.

HEREFTER BLEV GUDENÅUNDERSØGELSEN 1973 - 75 IVÆRKSAT AF AMTSRÅDENE I

> VEJLE AMTSKOMMUNE
> VIBORG AMTSKOMMUNE
> ÅRHUS AMTSKOMMUNE,

IDET DE TRE AMTSRÅD BEVILGEDE 8.2 MILLIONER KR. OG MILJØSTYRELSEN 470.000 KR. TIL GUDENÅUNDERSØGELSENS GENNEMFØRELSE.

TIL AT FORESTÅ GUDENÅUNDERSØGELSEN BLEV DER NEDSAT ET UDVALG - GUDENÅUDVALGET - BESTÅENDE AF REPRÆSENTANTER

FRA KOMMUNALBESTYRELSER OG AMTSRÅD I GUDENÅOPLANDET.

GUDENÅUDVALGET BESTÅR PR. 1. JUNI 1976 AF FØLGENDE:

ÅRHUS AMTSRÅD	AMTSBORGMESTER ROBERT SVANE HANSEN, FORMAND
ÅRHUS AMTSRÅD	AMTSRÅDSMEDLEM IB STÆHR
ÅRHUS AMTSRÅD	AMTSRÅDSMEDLEM K.E. SÆRKJÆR
ÅRHUS AMTSRÅD	AMTSRÅDSMEDLEM PER AMTOFT
KOMMUNEFORENINGEN I ÅRHUS AMT	BORGMESTER JØRGEN NIELSEN
VEJLE AMTSRÅD	AMTSRÅDSMEDLEM SØREN ØSTERGÅRD
KOMMUNEFORENINGEN I VEJLE AMT	BYRÅDSMEDLEM CARL BUNDGÅRD
VIBORG AMTSRÅD	AMTSRÅDSMEDLEM INGEMANN WITTRUP
KOMMUNEFORENINGEN I VIBORG AMT	BYRÅDSMEDLEM A. TANG SØRENSEN
MILJØSTYRELSEN	INGENIØR BENT JØRGENSEN
SEKRETÆRER	TEKNISK DIREKTØR J. STENBÆK
	FULDMÆGTIG B. STOUGAARD NIELSEN

TIL AT BISTÅ UDVALGET OG FORESTÅ DEN PRAKTISKE LEDELSE AF UNDERSØGELSESARBEJDET HAR DER TIL GUDENÅ-UDVALGET VÆRET TILKNYTTET EN TEKNIKERGRUPPE, DER PR. 1. JUNI 1976 HAR FØLGENDE SAMMENSÆTNING:

TEKNISK DIREKTØR J. STENBÆK	ÅRHUS AMTSKOMMUNE
AMTSVANDINSPEKTØR SV. FAURBY	ÅRHUS AMTSKOMMUNE
AMTSVANDINSPEKTØR ÅGE ELTONS	VIBORG AMTSKOMMUNE
AMTSVANDINSPEKTØR H. BLICHFELDT	VEJLE AMTSKOMMUNE
AMTSLÆGE OTTO CHRISTIANSEN	RISSKOV
TEKNISK DIREKTØR H. THOMSEN	RANDERS KOMMUNE
STADSINGENIØR H. BERING PETERSEN	SKANDERBORG KOMMUNE
AFDELINGSINGENIØR A. C. LARSEN	SILKEBORG KOMMUNE
CAND.SCIENT. MOGENS BAHN	MILJØSTYRELSEN

SEKRETÆRER

AFDELINGSINGENIØR H. BAK	ÅRHUS AMTSKOMMUNE
FULDMÆGTIG B. STOUGAARD NIELSEN	ÅRHUS AMTSKOMMUNE

TIL AT UDFØRE OG KOORDINERE DE MANGE DELUNDERSØGELSER ANSATTE GUDENÅUDVALGET

ENVIROPLAN A/S SOM KOORDINATOR FOR UNDERSØGELSER INDENFOR RANDERS FJORDS OPLAND

OG

VANDKVALITETSINSTITUTTET, ATV SOM KOORDINATOR FOR UNDERSØGELSER INDENFOR GUDENÅENS OPLAND.

I NÆRVÆRENDE RAPPORT PRÆSENTERES SAMMENFATTENDE RESULTATER OG KONKLUSIONER AF UNDERSØGELSERNE GENNEMFØRT INDENFOR GUDENÅENS OPLAND.

EN SAMLET OVERSIGT OVER GENNEMFØRTE UNDERSØGELSER OG TILHØRENDE RAPPORTER ER GIVET I BILAG I.

VANDKVALITETSINSTITUTTET, ATV

INDHOLDSFORTEGNELSE

		SIDE
1.	RESUME OG KONKLUSIONER	1.1
1.1	ADMINISTRATIVE FORHOLD	1.1
1.2	GUDENÅUNDERSØGELSEN - FORMÅL OG GENNEMFØRELSE	1.2
1.3	GUDENÅSYSTEMET - GENERELT	1.3
1.4	GUDENÅSYSTEMET - FYSISKE FORHOLD OG NUVÆRENDE RECIPIENTKVALITET	1.5
1.5	GUDENÅSYSTEMET - FORURENINGSKILDER OG STOFTRANSPORTER 1974	1.13
1.6	GUDENÅSYSTEMET - SYSTEMOPBYGNING	1.21
1.7	FREMTIDIG BELASTNING OG RECIPIENT-KVALITET	1.23
1.8	RENSNINGSTEKNISKE FORANSTALTNINGER	1.27
1.9	RECIPIENT- OG SPILDEVANDSPLANLÆGNING	1.29
1.10	KONTROLPROGRAMMER	1.32
1.11	SAMMENFATTENDE KONKLUSION	1.34
2.	INDLEDNING	2.1
2.1	GUDENÅUNDERSØGELSENS FORMÅL	2.1
2.2	PROGRAM FOR GUDENÅUNDERSØGELSEN 1973 - 75	2.2
2.3	DELTAGENDE INSTITUTIONER	2.6
2.4	RAPPORTERING	2.7

INDHOLDSFORTEGNELSE

		SIDE
3.	GUDENÅSYSTEMET - GENERELLE OPLYSNINGER	3.1
3.1	GUDENÅEN OG GUDENÅSYSTEMET	3.1
3.2	GUDENÅSYSTEMET - SPILDEVANDSFORHOLD	3.4
4.	GUDENÅSYSTEMET - FYSISKE FORHOLD OG NUVÆRENDE RECIPIENTKVALITET	4.1
4.1	FYSISKE FORHOLD	4.1
4.2	UNDERSØGELSEN VEDRØRENDE KILDER	4.14
4.3	VANDLØBSUNDERSØGELSER	4.24
4.4	FISKERIBIOLOGISKE UNDERSØGELSER	4.44
4.5	GUDENÅOPLANDETS SØER	4.51
4.6	KVIKSØLV OG ANDRE METALLER I SØ- OG VANDLØBSSEDIMENTER. KVIKSØLV I FISK SAMT FOREKOMSTER AF DDT OG PCB I FISK	4.76
4.7	GUDENÅSYSTEMET - HYGIEJNISK VURDERING	4.84
4.8	DAMBRUGSUNDERSØGELSEN	4.88
5.	FORURENING, ART OG KILDER	5.1
5.1	FORURENINGSKOMPONENTER, ART OG VIRKNING	5.1
5.2	FORURENINGSKILDER - SPILDEVAND	5.6
5.3	FORURENINGSKILDER - REGNVAND	5.24

INDHOLDSFORTEGNELSE

		SIDE
5.4	FORURENINGSKILDER - DAMBRUG	5.26
5.5	FORURENINGSKILDER - DIFFUSE KILDER (LANDBRUG)	5.29
5.6	STOFTRANSPORTER I GUDENÅSYSTEMET	5.35
6.	GUDENÅSYSTEMET - SYSTEMOPBYGNING	6.1
6.1	GENERELT	6.1
6.2	STOFTRANSPORTMODELLER	6.2
6.3	VANDLØBSMODELLER	6.6
6.4	SØMODEL - LAVVANDET SØ	6.14
7.	VURDERING AF FREMTIDIG BELASTNING OG TILSVARENDE RECIPIENTKVALITET	7.1
7.1	VURDERING AF FREMTIDIG BELASTNING	7.1
7.2	FREMTIDIG RECIPIENTKVALITET	7.8
8.	VURDERING AF RENSNINGSTEKNISKE FORANSTALTNINGER, VIRKNING OG ØKONOMI	8.1

INDHOLDSFORTEGNELSE

SIDE

9. SPILDEVANDSPLANLÆGNING 1975 - 2000 9.1

9.1 GUDENÅEN - RECIPIENT- OG SPILDEVANDSPLANLÆGNING 9.1

9.2 GUDENÅEN - RECIPIENTKVALITETSPLANER 9.7

10. KONTROLPROGRAMMER OG SUPPLERENDE UNDERSØGELSER 10.1

10.1 RUTINEKONTROLPROGRAMMER 10.1

10.2 INTENSIVE KONTROLPROGRAMMER 10.5

10.3 SUPPLERENDE UNDERSØGELSER 10.5

10.4 ANDRE UNDERSØGELSER 10.8

11. LITTERATURLISTE 11.1

12. ORDLISTE 12.1

BILAG 1: INSTITUT- OG RAPPORT-OVERSIGT B.1

INDLAGT I RAPPORTEN:

1. KORT VISENDE, GUDENÅSYSTEMET: FORURENINGSGRADER

2. KORT VISENDE, GUDENÅSYSTEMET: "FISKEVANDE"

GUDENÅSYSTEMETS AFSTRØMNINGSOMRÅDE

GUDENÅOPLANDET INKLUSIVE RANDERS FJORD-OPLANDET UDGØR CA. 3.300 KM^2, SVARENDE TIL 8 % AF DANMARKS AREAL, DET VIL SIGE PÅ STØRRELSE MED FYN.

1. RESUME OG KONKLUSIONER

1.1 ADMINISTRATIVE FORHOLD

Gudenåundersøgelsen 1973 - 1975 blev iværksat af amtsrådene i Vejle, Viborg og Århus amtskommuner.

Til at forestå undersøgelsen blev der nedsat et udvalg - GUDENÅUDVALGET - til hvilket, der knyttedes en TEKNIKERGRUPPE. Gennemførelsen af de mange delundersøgelser er blevet administreret af henholdsvis

Enviroplan A/S
(koordinator for undersøgelser vedr. Randers fjord).

Vandkvalitetsinstituttet, ATV
(koordinator for undersøgelser i Gudenåoplandet).

En lang række institutioner og firmaer har medvirket ved undersøgelsernes gennemførelse i Gudenåoplandet. Disse er:

Botanisk Institut, Århus Universitet
Cowiconsult, København
Det danske Hedeselskab, Slagelse
Det danske Hedeselskab, Viborg
Ferskvandsbiologisk Laboratorium, Københavns Universitet
Hygiejnisk Institut, Århus Universitet
Isotopcentralen, København
Laboratoriet for fysisk Geografi, Århus Universitet
Laboratoriet for teknisk Hygiejne, Danmarks tekniske højskole
Vandkvalitetsinstituttet, ATV, Hørsholm
Zoologisk Institut, Lab. B, Århus Universitet

Desuden har levnedsmiddellaboratorierne i Horsens, Randers og Silkeborg samt medarbejdere ved amtsvandinspektoraterne og berørte kommuner deltaget.

En lang række enkeltpersoner og firmaer har herudover bidraget til undersøgelsens gennemførelse.

I nærværende rapport er redegjort for undersøgelser, der er gennemført indenfor Gudenåens opland frem til Randers fjord ved hovedvej A 10.

1.2 GUDENÅUNDERSØGELSEN - FORMÅL OG GENNEMFØRELSE

Gudenåundersøgelsen har haft til formål

at angive Gudenåsystemets nuværende forureningstilstand og stofbelastning,

at vejlede vedrørende fastsættelse af kvalitetskrav til recipienter og angive forslag til rensningsforanstaltninger og disses prioritering,

at angive kontrolforanstaltninger.

Der er gennemført et omfattende analyse- og måleprogram vedrørende vandløbs- og søundersøgelser, suppleret med måling og registrering af forureningskilder. Undersøgelsesresultaterne er bearbejdet ved hjælp af EDB - nogle blot ved simpel datalagring - andre er bearbejdet ved udtegnings- og statistikprogrammer, samt rutinemæssig talbehandling. Til vurdering af forskellige indgrebs effekt på vandkvaliteten i en række vandløb og søer er opstillet:

en netværksstoftransportmodel

en dambrugsforureningsmodel

en vandløbsmodel

en sømodel

samt en økonomisk "model" (til beregning af omkostningerne ved forskellige rensningsindgreb)

Der er afleveret i alt 32 rapporter, som beskriver delundersøgelsesresultater og vurderinger. I Bilag I er samtlige delrapporter anført.

1.3 GUDENÅSYSTEMET - GENERELT

Gudenåen og Gudenåsystemet har i historisk tid været et centralt område for mennesker. Stenalderfolket bosatte sig indenfor området, og i middelalderen etablerede flere munkeordener deres klostre her, specielt på steder hvor vandkraften kunne udnyttes. Med industrialiseringens gennembrud i starten af det 19. århundrede fik byer som Silkeborg og Randers en kraftig befolkningstilvækst, og af virksomheder, der opstod i denne sammenhæng, kan nævnes Silkeborg Papirfabrik, som udnyttede Gudenåens vand som vandkraftkilde og råprodukt samt som transportvej.

I dag er det især turisterne - lystfiskere og lystsejlere - (kano- og motorbådssejlads), der benytter Gudenåsystemet som rekreativt område.

Gudenåen er 146 km lang og falder fra sit udspring ved Tinnet krat til Randers fjord i alt ca. 70 m. Vandkraften udnyttes undervejs, specielt ved kraftværkerne i Vestbirk og ved Tange sø.

Gudenåen og dens sidetilløb, hvoraf de vigtigste er,

Knudå
Uldum lilleå
Mattrup å
Tåning å
Salten å
Funder å
Lin å
Gjern å
Hinge å
Tange å
Hadsten lilleå
Nørre å

afvander et område på 2600 km^2.

Inden for området ligger der en række betydningsfulde, større søer, hvoraf kan nævnes

Skanderborgsøerne
Mossø
Salten langsø
Himmelbjergsøerne
Silkeborg langsø
Knudsø
Ravnsø
Tange sø
Hald sø
Vedsø
Nørresø) VIBORG
Søndersø)

De fleste af de typiske langsøer i Gudenåsystemet ligger i tunneldale fra istiden.

Inden for Gudenåoplandet bor ca. 190.000 indbyggere og deres spildevand tillige med industriers og dambrugs forureninger tilføres vandløb og søer. Industriernes spil-

devandsmængde svarer stort set til den, der ville komme fra 170.000 personer, og dambrugenes forurening svarer til den ca. 47.000 personer ville udlede.

En opgørelse pr. juni 1976 over ca. 95 kloakområder viser, at når spildevandet udledes er

ca. 5 % urenset

ca. 38 % mekanisk renset

ca. 57 % mekanisk-biologisk renset

ca. 1 %o mekanisk-biologisk-kemisk renset

1.4 GUDENÅSYSTEMET - FYSISKE FORHOLD OG NUVÆRENDE RECIPIENTKVALITET

1.4.1 AFSTRØMNINGSFORHOLD

Gudenåsystemets vandmængder er målt i en række hovedstationer, og systemets vestlige sidetilløb er karakteriseret ved en høj grad af grundvandspåvirkning. Gudenåens medianminimums- og middelvandføring er ved

Åstedbro	865 l/sek og	2500 l/sek
Tvilum	6200 l/sek og	15200 l/sek
Ulstrup	10000 l/sek og	19300 l/sek.

Vandets opholdstid gennem hovedsystemet er forholdsvis kort. For vandløbsstrækningers vedkommende 1 - 3 døgn afhængig af strækning og årstid, og i de mellemstore søer 1 - 5 måneder. I de dybe søer, Skanderborg sø, Mossø, Knudsø, Ravn sø samt Hald sø er opholdstiden ca. 1 - 3 år.

Til brug for vurderingen af vandtilførsler og vandafgang fra Mossø er specielt opblandingen af Gudenåvand i Mossø samt fordampningen fra Mossø bestemt. Fordampningen fra Mossø er opgjort til ca. 800 mm/år, en værdi der er 22 % højere end den normalt anvendte, (650 mm/år - Søndersø, København).

1.4.2 VANDKVALITET - KILDER

Gudenåsystemet har ca. 550 kilder samt øvre bækområder. Af disse er ca. 200 blevet vurderet nøjere på grundlag af en faunistisk vurdering. Af de undersøgte lokaliteter er 77 bedømt til at have naturhistorisk værdi, og af disse betegnes 28 at være særdeles "gode 3-stjernede lokaliteter"

Vandkvaliteten er fulgt i en række jyske kilder, hvoraf 6 ligger indenfor Gudenåoplandet. Der vurderes, at normalkoncentrationen af fosfor og kvælstof i kildernes afløbsvand er af størrelsesordenen 0,059 mg P/l og 0,380 mg N/l - totalværdier målt på filtrerede prøver.

Med henblik på at retablere forurenede recipienter er det af stor betydning ikke at påvirke kildeområderne. Derved muliggøres en rekruttering og genetablering af en rentvandsfauna i de nedstrøms dele af et vandsystem, og der kan eventuelt opnås en acceptabel vandkvalitet, efter at der for eksempel er iværksat yderligere rensningsforanstaltninger.

1.4.3 VANDKVALITET - VANDLØB

Vandkvaliteten er i Gudenåsystemets vandløbsstrækninger bedømt på grundlag af biologiske, kemiske og fysiske forhold.

Undersøgelser af bundfaunaen viser, at forurenings-graden bedømt efter saprobiesystemet oftest ligger omkring grad II, svarende til "ret svagt forurenet". Mellem 5 og 10 % af de mere betydende vandløbsstrækninger i Gudenåsystemet kan betegnes med en forureningsgrad større end eller lig med grad III, og kun ganske få procent af den samlede strækningslængde er karakteriseret ved en forureningsgrad på IV.

Årstidsvariationerne i saprobiegraden er små, af størrelsesorden 1/4 grad, og disse variationer forekommer oftest på stationer, beliggende umiddelbart efter spildevandstilløb.

På nogle strækninger i Gudenåsystemet, for eksempel Gudenåens nedre løb, lader saprobiesystemet sig kun anvende med forbehold.

På Gudenåstrækningen før Mossø mellem Bresten bro og Klostermølle er der fundet en etableret fauna af forholdsvis sjældne rentvandsarter, som henføres til "den gamle Gudenå-fauna", og denne rene strækning må betegnes som en sjælden bevaringsværdig lokalitet.

Undersøgelser af udvalgte vandløbsstrækningers flora viser, at Elodea canadensis (vandpest) og Sparganium simplex (enkelt pindsvineknop) er de to arter, som forekommer talrigst. Der er ikke konstateret direkte relationer mellem koncentrationer af næringssalte i vandfasen og produktion af vandløbsvegetation (rodfæstede planter).

Det er registreret, at der aldrig forekommer generende og langvarige masseforekomster, hverken af epifyter eller af trådformede grønalger ved lave total-fosforkoncentrationer af størrelsesordenen 0,05 mg/l eller

mindre (middel/vækstperiode).

Ved mekanisk-fysiske indgreb, for eksempel regulering, grødeskæring m.m., vil dette påvirke vegetationens successionsforløb, idet dette er nøje korreleret med vandhastighed og bundforhold.

De fysisk-kemiske forhold i vandløbene er vurderet dels strækningsvis ved såkaldte intensive undersøgelser, hvor der i sommerperioderne er foretaget indgående døgnstudier, og dels ved punktmålinger ved hovedmålestationer - hver 14. dag. De intensive undersøgelser viste, at der i Nørreåen var dårlige iltforhold på grund af høj belastning og ringe genluftning.

I Hadsten lilleå var vandkvaliteten uacceptabel, idet der på en længere strækning var anaerobe (iltfrie) forhold på grund af nedbrydning af urenset spildevand fra Hadsten by. I Tange å's øvre del var iltforholdene ligeledes uacceptable på grund af udledning af mekanisk renset spildevand.

1.4.4 FISKERIBIOLOGISKE UNDERSØGELSER

Fiskeribiologiske undersøgelser over forekomst og bestandtætheder af fisk i Gudenåsystemet har vist, at ørred (Salmo Trutta) er den art, der er fundet på flest stationer (68 % af de undersøgte stationer) og i størst antal (59,3 % af den samlede fangst). Hyppigt forekommende er også regnbueørred, ål og trepigget hundestejle, der er fundet på mellem 23 % og 27 % af de undersøgte lokaliteter. Foruden ovennævnte arter er der fundet yderligere 14 arter.

Ved bygningen af dæmningen og kraftværket ved Tange i 1920 blev opgangslaksene hindret i at nå deres gydeplad-

ser, der alle lå ovenfor kraftværkets opstemning. Dette medførte laksebestandens udryddelse samt en kraftig nedgang i havørredfiskeriet. Da en del af gydepladserne tillige lå umiddelbart ovenfor Tange, blev disse ødelagt ved oversvømmelser i takt med dannelsen af Tange sø. Dette betyder, at selv om fisketrappen ved Tangeværket gøres funktionsdygtig, vil der formentlig ikke kunne skabes en selvreproducerende laksebestand i Gudenåen.

En ombygning, der bringer fisketrappen ved Tangeværket i funktionsdygtig stand, vil imidlertid have betydning for havørredbestanden, idet undersøgelsen har vist, at der ovenfor Tangeværket findes mange vandløbsstrækninger, der er velegnede som gyde- og opvækstvande for havørreder.

1.4.5 VANDKVALITET - SØER

Gudenåsystemets søer er undersøgt og vurderet på grundlag af vand- og sedimentkemiske forhold samt vegetationsforhold, særlig planteplankton.

Det er konstateret, at silicium, fosfor og kvælstof og naturligvis lyset er regulerende for primærproduktionens størrelse. I de fleste af søerne er der sandsynlighed for næringsstofbegrænsning med fosfor som det oftest forekommende vækstregulerende/begrænsende næringsstof.

I nedenstående oversigt er for en række søer angivet gennemsnitlige sigtedybdeværdier samt klassifikation i henhold til Miljøstyrelsens inddeling.

Sønavn	Gennemsnit af sigtedybde m	Klassifikation i A, B og C søer
Almind sø	5,3	A
Brassø	1,1	C (B)
Bryrup langsø	~ 1,2	C
Hald sø	3,2	B
Hinge sø	0,6	C
Mossø	-	B
Nørresø (Viborg)	1,7	B
Salten langsø	1,4	B
Silkeborg langsø	0,8	C
Skanderborg sø	~ 1,0	C
Slåensø	6,0	A
Søbygård sø	1,5	C
Søndersø (Viborg)	1,1	C
Tange sø I	1,1	C
Tange sø II	0,8	C
Thorsø	1,7	B (A)
Vedsø	1,1	B
Vessø	1,6	B
Ørnsø	1,0	C

1.4.6 KVIKSØLV, ANDRE TUNGMETALLER SAMT DDT OG PCB

SEDIMENTER

I udvalgte sedimentprøver (bundprøver) fra søer og vandløb er kviksølvindholdet samt indholdet af andre tungmetaller undersøgt. Silkeborg langsø, Tange sø og Tange å er belastet med kviksølv, og Skanderborgsøerne, Ørn sø og Silkeborg langsø er belastet med kobber. Endelig viser Silkeborg langsø belastning med nikkel.

FISK

Kviksølvindholdet i fisk fra Tange sø og Silkeborg langsø viser en nedgang i akkumuleringstilvæksten på ca. 6 gange i forhold til tidligere undersøgelser (1968) og de fundne koncentrationer ligger på niveau med eller under de af WHO og FDA angivne vejledende grænseværdier.

Indholdet af DDT og PCB er undersøgt i de samme fisk, som er vurderet ved kviksølvundersøgelsen, og indholdet af DDT og PCB i de undersøgte fisk ligger væsentligt under de kritiske grænseværdier.

1.4.7 VANDKVALITET - HYGIEJNE

Der er gennemført et hygiejnisk måleprogram ved hovedstationerne i systemet. Dette afspejler tydeligt, hvor der sker "direkte" spildevandstilførsler. Såfremt bakterierne tilført med spildevandet passerer søbassiner med mulighed for længere tids ophold og sedimentation, reduceres bakteriemængden væsentligt. Gudenåen kan så-

ledes opdeles i to afsnit, et afsnit med søer og et uden. Det første strækker sig til og med Tange sø - det andet efter Tange sø inklusive Nørreåen efter Viborg samt Hadsten lilleå. Den hygiejniske vandkvalitet opfylder kun ved få af hovedstationerne de hygiejniske krav til badevand - men ved de egentlige badeområder i søerne, for eksempel Almind sø, Hinge sø, Knud sø m.fl. er der gode hygiejniske forhold.

1.4.8 DAMBRUGSUNDERSØGELSEN

Til belysning af recipientreaktioner over for de tilførte stofbidrag er der på Bregnholm mølle dambrug, Mattrup å, udført intensive detailundersøgelser med det formål at belyse:

effekt af udledning af iltforbrugende stoffer samt næringsstoffer,

effekt af slamakkumulering og sedimentation,

transportveje gennem det betragtede økosystem for: ilt, næringsstoffer og organisk stof.

Undersøgelsen har vist, at dambrugsdrift forøger recipientens transport af ammoniakkvælstof, total organisk kvælstof, ortofosfat, total-fosfor samt kemisk og biokemisk iltforbrug. Der er i den forbindelse konstateret, at der er en nøje sammenhæng mellem tilførte fodermængder og det umiddelbare fodertab.

I forbindelse med opgørelsen af Gudenåsystemets stofkilder (afsnit 1.5.4) er der for 71 dambrug vurderet udledningsmængderne af organisk stof, fosfor og kvælstof.

1.5 GUDENÅSYSTEMET - FORURENINGSKILDER OG STOFTRANSPORTER 1974

1.5.1 FORURENINGSKOMPONENTER

Forureningskomponenterne, deres art og virkning er gennemgået som en introduktion til forureningskilde-undersøgelserne.

1.5.2 FORURENINGSKILDER - SPILDEVAND

Af Gudenåoplandets ca. 240 bysamfund belaster de ca. 40 byer systemet med spildevand svarende til 240.000 PE (personækvivalenter) eller ca. 70 % af den samlede spildevandsbelastning.

RENSNINGSANLÆG

Der er foretaget spildevandsundersøgelser på 33 af disse byers rensningsanlæg med henblik på at vurdere anlæggenes effektivitet, stofudledning samt slamforhold vedrørende tungmetalkoncentrationer.

Rensningsanlæggene i Tørring, Klovborg, Silkeborg, Åle, Hammel, Ulstrup og Rødkjærsbro var i undersøgelsesperioden overbelastede og udledte større mængder kvælstof, fosfor og/eller organisk stof i forhold til, hvad der under normale driftsforhold måtte forventes.

Undersøgelsen af tungmetalindholdet fra 26 af rensningsanlæggene viste

at chromindholdet i slam var højt i Silkeborg, Kjellerup og Bjerringbro,

at kobberindholdet i slam var højt i Ry,

at kviksølvindholdet i slam var højt i Kjellerup og havde noget forhøjet niveau i Silkeborg, Skanderborg, Østbirk, Tange og Tørring,

at nikkelindholdet i slam fra Silkeborg og Bjerringbro var højt.

Tungmetaludlederne har i flere tilfælde umiddelbart kunnet udpeges, og kommunerne har iværksat kildekontrol med henblik på at finde samtlige tungmetaludledere.

Rensningsanlæggenes evne til at reducere bakterier er blevet vurderet, og den hyppigst forekommende værdi for E. coli i det rensede spildevand var på 10^6 pr. 100 ml, svarende til hvad man normalt ville forvente fra mekanisk-biologiske rensningsanlæg ved vinterdrift.

HOSPITALER

Afløbsvandet fra hospitalerne i Brædstrup, Silkeborg og Kjellerup blev undersøgt, og det konstateredes, at der var et stort vandforbrug på mellem 177 m^3 - 275 m^3 pr. seng pr. år, ekskl. vand til vaskerier. Een persons normale årlige vandforbrug er ca. 70 m^3. Hospitalsspildevandets indhold af kemiske stoffer afveg ikke fra normalt husspildevand, når undtages tungmetallerne kviksølv og sølv. Fra alle hospitaler udledtes betragtelige mængder kviksølv, stammende fra præparater, reagenser, termometre m.v.. Sølv udledtes i forbindelse med skyllevand fra røntgenafdelingerne og blev fundet i to af afløbene i forhøjede koncentrationer.

På de undersøgte hospitaler er der i dag taget initiativ til at nedbringe vandforbrug og udslip af kviksølv og sølv.

PAPIR- OG PAPFABRIKKER

I Gudenåoplandet findes tre papir- og papfabrikker, der alle har selvstændig spildevandsudledning. Fabrikkernes afløbsvand blev undersøgt for at afgøre mængden og arten af de forurenende stoffer, som udledes fra disse virksomheder.

I nedenstående skema er anført de registrerede døgnmængder:

	Silkeborg Papirfabrik Remstrup å kg	J. Smiths Papfabrik Nørre å kg	Vilholt Papfabrik Gudenå, Mossø kg
Total-kvælstof	10,8	1,0	3,2
Total-fosfor	2,2	0,2	0,9
Org. stof (BI_5)	280	47	103
Org. stof (COD)	499	107	267
Suspenderet stof	585	82,5	460
Tørstof	2600	343	929
VANDMÆNGDE	7171 m^3	1071 m^3	1754 m^3

De udledte næringsstofmængder er relativt små og nedbrydningen af organisk stof skønnes ikke at ville få væsentlig indflydelse på recipienterne - undtaget dog Nørreå, der ikke bør belastes yderligere med organisk stof.

Slammet fra virksomhederne er blevet analyseret for tungmetalindhold - og i Silkeborg papirfabriks slam er konstateret et forhøjet chrom- og kobberindhold. Kviksølv, der tidligere er registreret i forbindelse med kviksølvundersøgelserne i Silkeborg langsø og Remstrup å, fandtes kun i lave koncentrationer i det undersøgte slam.

FJERKRÆSLAGTERI

Afløbsvandet fra Post Fjerkræslagteri i Holmstol - der udledes separat efter biologisk rensning - blev undersøgt, og der konstateredes:

Rensningsanlæggets rensningseffekt vedrørende organisk stof var 80 % (februar måned) og der udledtes i alt

org. stof (BI_5)	9 kg/døgn
kvælstof	4 kg/døgn
fosfor	0,6 kg/døgn

Næringsstofmængderne er relativt beskedne, og recipienten Dalby bæk karakteriseres efter udledningen som værende svagt forurenet.

MEJERIER

Der er ikke gennemført undersøgelser på mejerier, men på grundlag af oplysninger om indvejet mælkemængde og rensningsanlæg kan belastningen fra 10 mejerier med egen udledning opgøres til

org. stof (BI_5)	130	tons/år
total-kvælstof	5,0	tons/år
total-fosfor	1,3	tons/år

Næringsstofmængderne er relativt små, men mængden af organisk stof er af en sådan størrelse, at mejerispildevandsudledningerne må forventes at forringe mindre vandløbs vandkvalitet - hvilket de af amtsvandinspektoraterne gennemførte kommuneundersøgelser bekræfter.

1.5.3 FORURENINGSKILDER - REGNVAND

Der er gennemført undersøgelser af regnvandsafstrømning fra separat og fælles kloakerede områder for at få et indtryk af forureningskomponenter og -mængder, som under regnvejr tilføres recipienterne.

For et blandet industri- og lavt bebygget beboelsesområde i Viborg med separatsystem er der fundet følgende maksimale og gennemsnitskoncentrationer i mg/l af:

	Maksimale værdier	Middel værdier
Organisk stof COD_{perm}	90	25
Total-fosfor	0,9	0,3
Total-kvælstof	14	5

Den årlige transport til recipienten Nørresø er opgjort til

Organisk stof, COD_{perm}	70 kg/ha/år
Total-fosfor	1 kg/ha/år
Total-kvælstof	14 kg/ha/år

Undersøgelser for opland i Skanderborg viser væsentligt højere (ca. 50 og 100 %) koncentrationer og dermed transport af både kvælstof og fosfor, men dette områdes særlige topografiske udformning, grønne områder med stejle, let eroderbare slugter, er skyld i dette. Af andre parametre, der stikprøvevis er målt, er suspenderet stof, bly og cadmium.

Et særligt forhold er belyst via undersøgelser på Viborg centralrensningsanlæg, nemlig anlæggets dårlige funktion under regnvejr. På grund af uhensigtsmæssig udformning - fejlen er nu rettet - skulle store mængder regnvand gennem hele anlægget med en hydraulisk overbelastning til følge. Resultatet var, at recipienten Nørreå med mellemrum fik tilført fra 5 - 20 gange tørvejrsmængden af organisk stof fra rensningsanlægget.

I Gudenåsystemet skønnes regnvandsbelastningen for de urbaniserede områder foreløbig kun at have lokal effekt. Til brug ved stoftransportvurderingerne er som indirekte nedbørsbidrag på søflader benyttet 15 kg N/ha/år og 0,1 kg P/ha/år.

1.5.4 FORURENINGSKILDER - DAMBRUG

Inden for Gudenåoplandet findes 71 dambrug, hvoraf de 63 dambrug var i funktion under undersøgelsesperioden.

53 dambrug er registreret og fulgt igennem undersøgelsesperioden - og på grund af kendskab til produktionsforhold, fodermængder m.v. er belastningen fra de enkelte dambrug opgjort områdevis.

De 63 dambrug tilfører i alt Gudenåsystemet:

1035 tons organisk stof/år

28 tons fosfor/år

207 tons kvælstof/år.

1.5.5 FORURENINGSKILDER - DIFFUSE KILDER

De diffuse kilder udgøres af næringsstoftilførsler fra skov- og landbrugsområder og består af overfladeafstrømmende samt gennem drænsystemer og grundvand tilført fosfor og kvælstof.

Der er gennemført egentlige undersøgelser af afstrømning fra tre områder, og der kom fra disse følgende mængder kvælstof og fosfor:

	N kg/ha/år	P kg/ha/år
Granslev å (skov og landbrug)	7,0	0,15
Voelbæk (landbrug, sandjord)	14,0	0,17
Gjelbæk (landbrug, lerjord)	25,0	0,43

I det øvrige Gudenåopland er disse værdier stort set genfundet, idet dog Gudenåens øvre løb, hvor terrænfaldet er meget markant, afviger. Der er her opgjort en stoftilførsel på 28 kg N/ha/år og 0,9 kg P/ha/år.

Som et led i undersøgelserne ved Voelbæk og Gjelbæk er der indhentet oplysninger om fosfor og kvælstoftilførsler (gødskning) og afgang (salg af kvæg, korn) og der er opstillet detaljerede fosfor- og kvælstofbalancer for disse områder. Det anføres her, at ca. 20 - 40 % af fosforafstrømningen stammer fra toilet-, køkken- og staldafløb.

1.5.6 STOFTRANSPORTER I SYSTEMET

På grundlag af målinger i en række hovedstationer samt kendskabet til forureningskilderne og disses mængder er der opstillet et detaljeret stoftransportregnskab for fosfor og kvælstof. Der redegøres her for spildevands-, dambrugs- og landbrugsbidrag, disses størrelse og fordeling. Spildevandsbidraget vedrørende fosfor kan opdeles i et bidrag fra vaskemidler/polyfosfater af størrelsesordenen 2,2 g/PE/døgn og et fysiologisk udskilt bidrag af størrelsesordenen 1,6 - 1,8 g/PE/døgn. Ved passage af søer sker der tilbageholdelse af stof ved sedimentation, og på grundlag af ophobede fosformængder og kendskab til sedimentsammensætningen er sedimenttilvæksten beregnet.

I alt ophobes der ca. 1200 tons kvælstof og 106 tons fosfor i systemet, og Randers fjord modtog i 1974 3032 tons kvælstof og 201 tons fosfor fra Gudenåoplandet.

1.6 GUDENÅSYSTEMET - SYSTEMOPBYGNING

Modelmæssigt er Gudenåsystemet betragtet som et netværk af strenge (vandløb) og reaktionsbassiner (søer). Netværket tilføres stoffer udefra via spildevand, dambrug og landbrugsafstrømning. Et samlet overblik over belastningen af vandløb og søer fås ved hjælp af to typer modelbetragtninger

1) Overordnet stoftransportmodel, der beskriver stoftilførsler og transporter i systemet frem til år 2000.

2) Modeller, der beskriver omsætningsforholdene i søer og vandløb.

1.6.1 STOFTRANSPORTMODELLEN

Stoftransportmodellen fremskriver spildevandsbelastningen til år 2000, udfra skønnede befolkningsudviklinger og udfra skønnede belastningsforøgelser pr. person med kvælstof, fosfor og vandmængde.

Belastningsbidragene fra dambrug og landbrug regnes uændrede frem til år 2000.

1.6.2 VANDLØBSMODELLER

Modelberegninger for vandløb er foretaget på lokalt plan i systemet for at belyse de umiddelbare påvirkninger af iltforholdene i forskellige vandløbsstrækninger, som giv-

ne rensningsforanstaltninger vil have.

Den vandløbsmodel, der anvendes, beskriver principielt ethvert vandløb efter en hydraulisk tilpasning og en kalibrering af de kemiske processer, som beskrives.

Modellen er anvendt på såvel Gudenåens hovedstrækninger som på en række af dens sidetilløb.

Modellen behandler processerne i vandløb ved hjælp af et ligningssystem, der består af variabler, for eksempel ilt, BI_5 og parametre, for eksempel omsætningshastigheder. Udefra påvirkes systemet af tvangsfunktioner.

Typiske parametre som indgår i modellen er nedbrydningshastigheden for organisk stof, planternes iltproduktion, systemets respiration og genluftningskonstant.

De tre første er bestemt ved kalibrering efter observerede omsætninger, mens den fjerde, genluftningskonstanten, er bestemt ud fra hydrauliske betragtninger.

Der er ikke fundet nogen udtalt systematik i størrelsen af parametrene for de undersøgte vandløbsstrækninger. Der er dog en tendens til, at nedbrydningshastigheden for organisk stof er størst i vandløbet lige efter et spildevandsudløb.

Planternes produktion af ilt er på visse strækninger fundet at være ret høj, især lige efter søer.

Respirationen er den parameter blandt de betragtede som øjensynlig varierer mest. Dette skyldes flere omstændigheder. For det første afhænger respirationen af vandløbets

bund- og belastningsforhold og for det andet giver mange processer deres bidrag til respirationen (planterespiration, bundrespiration, nitrifikation og dyrs respiration).

1.6.3 SØMODELLER

Sømodeller er opstillet og anvendt for en række lavvandede søer for at belyse eutrofieringsforholdene i disse. Ligesom vandløbsmodeller opererer den anvendte sømodel med tilstandsvariabler, der behandles ved hjælp af et ligningssystem, som er styret af parametre.

Systemet påvirkes udefra af tvangsfunktioner, for eksempel lysindstråling, temperatur og stoftilledninger.

Anvendelse af modellen kræver en fysisk tilpasning og en derpå følgende kalibrering på basis af observerede årsvariationer af de i modellen indgående tilstandsvariabler. Modellen er søgt tilpasset følgende søer i Gudenåsystemet: Mossø (3 bassiner), Salten langsø, Brassø, Ørnsø, Silkeborg langsø (3 bassiner) og Tange sø (2 bassiner).

1.7 FREMTIDIG BELASTNING OG RECIPIENTKVALITET

1.7.1 FREMTIDIG BELASTNING

Den fremtidige belastning af Gudenåsystemet i perioden 1974 - 2000 er beregnet ved hjælp af den opstillede stoftransportmodel.

Belastningen er fremskrevet ud fra prognoser om befolkningsudvikling og om øget belastning. I ekstrapolationerne frem til år 2000 er der taget hensyn til de på nuværende tidspunkt iværksatte større rensningsindgreb, i Silkeborg, Skanderborg og Hadsten. Landbrugs- og dambrugsbidrag er regnet konstant i tiden.

De beregnede totale transporter af kvælstof og fosfor ved A 10 i 1985 og 2000 er i nedenstående skema sammenlignet med de i 1974 målte transporter ved samme station:

	TRANSPORT VED A 10, Motorvejsbro*)	
År:	Total-fosfor	Total-kvælstof
1974	201	3032
1985	250	3164
2000	353	3511

*) A 10, motorvejsbro, Gudenåens skæring med motorvejen vest for Randers.

De i beregningerne indgående rensningsanlæg er belastningsmæssigt vurderet i forhold til nærmeste nedstrømsbeliggende hovedstations stoftransport.

1.7.2 FREMTIDIG RECIPIENTKVALITET - VANDLØB

Den fremtidige recipientkvalitet er modelmæssigt vurderet for vandløbsstrækningerne Hadsten lilleå, Tange å og Nørre å.

Beregningerne for Hadsten lilleå danner grundlag for rensningskrav vedrørende organisk stof til det i 1975 opførte rensningsanlæg i Hadsten by.

På grundlag af beregningerne blev der stillet krav til, at BI_5 i det udledte spildevand fra anlægget ikke måtte overstige 20 mg/l. Dermed skulle være sikret, at iltindholdet i åen nedstrøms anlægget ikke var under 2 mg/l i mere end højst 4 timer i træk, samt ikke under 4 mg/l i mere end højst 10 timer i træk.

Ved Tange å er vurderet effekten af en eventuel nedsat vandføring (for eksempel på grund af markvanding). 25 % reduktion i vandføring sænker iltindholdet i åen 0,7 mg/l, mens 50 % reduktion i vandføring sænker iltindholdet i åen ca. 2 mg/l. Med den nuværende organiske belastning af Tange å medfører de nævnte vandføringsreduktioner alligevel ikke, at iltindholdet kommer under 5 mg/l på Tange å's nedre del.

For Nørre å (fra Vedsø til Økærbro) er der gennemregnet adskillige alternativer, udfra hvilke det kan konkluderes, at en væsentlig bedring af Nørre å's iltforhold kan opnås ved enten at begrænse iltforbruget i og ved Rindsholm dambrug eller ved kunstigt at tilføre åen ilt (luftindblæsning). Det må dog bemærkes, at en vis effekt kan opnås ved at begrænse tilførslen af organisk stof til åen.

Såfremt den kraftige plantevækst, trådalger, i for eksempel Nørre å og Hadsten lilleå, ønskes nedbragt, må det overvejes, om der ved fosforfjernelse på rensningsanlæggene kan opnås tilstrækkeligt lave fosforkoncentrationer (ca. 0,05 mg/l) i vandløbet i vækstperioden.

1.7.3 FREMTIDIG RECIPIENTKVALITET - SØER

Den fremtidige recipientkvalitet for Salten langsø, Brassø, Ørnsø, Silkeborg langsø og Tange sø er vurderet udfra skitserede alternative belastninger.

På grundlag af beregningerne kan konkluderes følgende:

Både fosfor og kvælstof er begrænsende for algevæksten i størstedelen af de betragtede søer, idet dog fosfor må betragtes som det dominerende begrænsende næringsstof. Af denne årsag, og fordi en langt større del af fosfortilførslerne end af kvælstoftilførslerne er kontrollerbare, må det anbefales at koncentrere en fremtidig rensningsteknisk indsats om fosforfjernelse.

I den sammenhæng skal der peges på, at det diffuse bidrag - landbrugsbidraget - ofte inkluderer utilsigtede belastninger, afløb fra husholdninger og stalde, hvor specielt fosfor udgør en kontrollabel kilde.

For de øvrige søer, Skanderborgsøerne, Ravnsø, Knudsø, Søbygård sø og Bryrupsøerne, er der ikke gennemført egentlige modelberegninger til belysning af, om kvælstof og/eller fosfor vil være begrænsende for algevæksten. Men på grundlag af kemiske og biologiske målinger konkluderes det, at fosfor vil være det mest produktionsbegrænsende stof i relation også til disse søers fremtidige recipientkvalitet.

1.8 RENSNINGSTEKNISKE FORANSTALTNINGER

Som eksempler på konsekvenserne af forskellige rensningstekniske indgreb er der gennemregnet 5 tekniske alternativer:

Alternativ 1

For alle bysamfund over 200 PE etableres mekanisk-biologisk rensning af afløbsvandet inden 1980.

Alternativ 2

Alternativ 2 er en udbygning af alternativ 1, idet de mekanisk-biologiske rensningsanlæg, der er større end 500 PE, udbygges med kemisk fældning i perioden 1980 - 1990. Kvalitetsindgreb regnes virksomme fra 1985.

Alternativ 3

Alternativ 3 er en lignende udbygning af alternativ 1 som alternativ 2, men anlæggene udbygges både med kemisk fældning og denitrifikation.

Alternativ 4

Alternativ 4 er identisk med alternativ 2, dog udbygges de største af anlæggene (> 15.000 PE) med kemisk fældning allerede i 1. etape, det vil sige inden 1980.

Alternativ 5

Alternativ 5 er en udbygning af alternativ 1, men mindre omfattende end alternativ 2, idet kun anlæg større end 15.000 PE udbygges med kemisk fældning inden 1980.

For de 5 alternativer er der foretaget økonomiske konsekvensberegninger udfra en række forenklede forudsætninger.

Med en 6 % kalkulationsrente fås ved nutidsværdimetoder for de fem alternativer følgende overslag:

	Alternativ 1	Alternativ 2	Alternativ 3	Alternativ 4	Alternativ 5
Anlægsudgifter	62	73	80	81	67
Driftsudgifter	129	153	161	159	143
Totaludgifter	191	226	241	240	210

Enheden er mill. kr.

De økonomiske beregninger af alternativ 5 er fremkommet ved interpolation og beror i nogen grad på skøn.

Den effekt på søerne, der i forhold til 1974-situationen opnås under alternativerne 1, 2 og 5, kan angives som ændringer i søernes primærproudktion (procent ændring i forhold til 1974-situationen) således:

		Alternativ 1	Alternativ 2	Alternativ 5
1985	Brassø	+ 4	- 12	+ 4
	Silkeborg III	- 13	- 19	- 13
	Tange I	+ 1	- 16	0
	Tange II	+ 4	- 17	0
2000	Brassø	+ 9	- 8	+ 9
	Silkeborg III	- 2	- 17	- 2
	Tange I	+ 8	- 13	+ 4
	Tange II	+ 24	- 13	+ 9

Alternativerne skal betragtes som eksempler, og de økonomiske beregninger er overslag.

1.9 RECIPIENT- OG SPILDEVANDSPLANLÆGNING

Efter fastlæggelse af den eksisterende kvalitet må det afgøres, om denne er tilfredsstillende. I benægtende fald fastsættes den vandkvalitet, der skal opnås.

Dette udmøntes i rensningskrav med tilhørende økonomiske konsekvensberegninger. Er økonomien ikke acceptabel, må der eventuelt fastsættes nye kvalitetskrav, og en fornyet konsekvensberegning må foretages. En sådan "feed-back" procedure vil kunne anvendes for mange beslutningsprocesser i Gudenåsystemets spildevands- og recipientplanlægning.

1.9.1 GUDENÅUNDERSØGELSEN - RECIPIENT- OG SPILDEVANDSPLANLÆGNING

Det materiale, der er fremskaffet, systematiseret og vurderet i Gudenåundersøgelsen, vil kunne udgøre et væsentligt grundlag ved det forestående planlægningsarbejde, der skal udføres i henhold til Miljøbeskyttelseslovens § 61og § 21. I denne sammenhæng er de største rensningsanlæg i systemet vurderet i relation til recipienten dels gennem den relative belastning, de påfører systemet, og dels gennem den effekt, der registreres på systemets biologiske forhold og hygiejne. Den biologiske påvirkning viser sig f.eks. ved en ændring i saprobiegraden umiddelbart efter udledningen. Den hygiejniske påvirkning viser sig ved en højere koncentration af fækale bakterier nedstrøms udledningen.

Formulering af krav til kvaliteten i en recipient afhænger af anvendelsen af recipienten. Recipientanvendelse kan f.eks. være:

A 1 Recipienter af særdeles høj naturvidenskabelig værdi.

A 2 Recipienter, der skal være egnet til naturvidenskabelige studier, undervisningsformål og/eller rekreative formål.

B Recipienter, der skal være egnet til drikkevand.

C Recipienter, der skal være egnet til badevand.

D 1 Recipienter, der skal være velegnet som gyde-, opvækst- og opholdsvand for laksefisk.

D 2 Recipienter, der skal være egnet som gyde-, opvækst- og opholdsvand for andre fisk end laksefisk.

E Recipienter, der skal være æstetisk tilfredsstillende.

F Recipienter, der skal anvendes til formål, der ikke stiller særlige krav.

1.9.2 MÅLSÆTNING - GUDENÅSYSTEMETS VANDLØB

Den af amtskommunerne formulerede målsætning for Gudenåsystemets vandløbsstrækninger er ikke opfyldt for følgende strækninger:

Alsted mølleå

Gudenåen fra Resenbro til Kongensbro

Dele af Gjernå

Dele af Funder å

Dele af Mattrup å

Dele af Salten å

Dele af Gudenåen fra Tange sø til Bjerringbro

Tange å (før og efter Thorning og efter Kjellerup)

Hadsten lilleå

Nørreåen på flere strækninger

Et stort antal mindre sidetilløb, der ikke er vurderet i denne sammenhæng.

For en del af Gudenåstrækningerne er den fastsatte målsætning opfyldt.

1.9.3 MÅLSÆTNING - GUDENÅSYSTEMETS SØER

Af Gudenåsystemets søer er 67 undersøgt og klassificeret som AA, A, B eller C søer efter deres eutrofieringsgrad (Miljøplanforudsætninger, Miljøstyrelsen). 19 søer var i 1974 betegnet som AA eller A søer, 20 søer som B søer og 28 søer var i kategori C. Ifølge den målsætning, som de 3 amtskommuner bør stile mod skal i fremtiden 27 søer være AA eller A søer, 40 skal kunne klassificeres som B søer, og ingen må kunne placeres i kategori C. Denne målsætning medfører, at kvaliteten i 42 af de 67 undersøgte søer skal forbedres.

1.10 KONTROLPROGRAMMER

Amtsrådenes fremtidige recipientkontrol i Gudenåsystemet vil omfatte rutinekontrol, som udføres løbende, og speciel kontrol, som kun iværksættes i forbindelse med effektkontrol af væsentlige rensningsindgreb.

1.10.1 RUTINEKONTROL

Rutinekontrol bør omfatte vandføring/vandskifte, vandkemi, hygiejne og biologi i fortsættelse af de ved Gudenåundersøgelsen gennemførte undersøgelser.

Kontrol af vandføring foregår ved fortsat drift af de ved Gudenåundersøgelsen oprettede hydrometriske stationer.

Kontrol af stoftransporter bør foregå ved døgnmålinger mindst én gang om måneden hvert tredie til femte år i en del af de i undersøgelsen benyttede stationer. Kontrollen omfatter variablerne kvælstof- og fosforfraktioner samt organisk stof.

Den biologiske og hygiejniske kontrol er en fortsættelse af de i 1973 - 75 gennemførte undersøgelser. Den biologiske kontrol bør gennemføres hvert år på højt prioriterede strækninger og hvert andet år på resten af strækningerne.

Den hygiejniske kontrol foreslås hvert tredie år.

1.10.2 INTENSIV KONTROL

Intensiv kontrol foretages efter væsentlige rensningstekniske indgreb f.eks. etablering af rensning i Hadsten og udbygning af anlæg i Silkeborg og Skanderborg.

1.10.3 SUPPLERENDE UNDERSØGELSER

Der er peget på en række supplerende undersøgelser for vandløb nemlig:

Regnvejrsbelastning af Nørreå

Reduceret vandføring på Gudenåen fra Resenbro til Kongensbro

Effekt af opmudring i forbindelse med grødeskæring

Effekt af forskellige ekstreme udledninger.

For søer er der peget på specielle undersøgelser i Skanderborg sø, Mossø, Ravn sø, Søbygård sø og Bryrup søerne.

Som et specielt tilfælde bør undersøges effekt på Tange sø af grødeskæring i Gudenåen fra Resenbro til Kongensbro.

Hvert 10. år bør fiskebestanden i Gudenåsystemet opgøres.

Hvert 5. år bør tungmetalindholdet i søernes sedimenter og fisk kontrolleres.

1.11 SAMMENFATTENDE KONKLUSION

Gudenåsystemet har på flere enkeltlokaliteter - kilder, vandløb og søer - en meget høj vandkvalitet.

Gudenåsystemet som helhed er - når næringsstofferne fosfor og kvælstof betragtes - et meget hårdt belastet system.

Søerne har overfladebelastninger på 20 - 100 g P/m^2/år og 60 - 1300 g N/m^2/år. Værdier, som trods kort opholdstid indikerer meget kraftig eutrofiering i overensstemmelse med de øvrige biologisk-kemiske resultater.

Fosfor må anses for det næringsstof, der er det dominerende begrænsende næringsstof. Især af denne årsag, men også fordi en langt større del af fosfortilførslerne - også de der kommer fra diffuse kilder - er kontrollerbare, bør der foretages en reduktion af fosforudledningerne, såfremt den nuværende vandkvalitet i vandløb og søer skal opretholdes eller forbedres. Det må understreges, at såfremt der ønskes en meget høj vandkvalitet i hovedsystemet, skal der stilles endog meget skarpe krav vedrørende forureningskildernes fosforreduktion.

Det er således vurderet, at en fosforreduktion på alle anlæg (større end 500 PE) opstrøms Tange sø i år 2000 kun vil medføre en nedgang i primærproduktionen på ca. 15 % og give en sigtedybdeforbedring på ca. 10 % i forhold til 1974-værdierne. Såfremt sammenligningen foretages med år 2000-situationen uden reduktion af fosfortilførslerne, vil der være tale om en primærproduktionsformindskelse på ca. 40 % og sigtedybden forøges med ca. 15 %.

Nedbrydning af organisk stof samt planters respiration medfører lokale iltsvindsproblemer og samspillet mellem spildevandsudledning og recipientreaktion er specielt kommet til udtryk i fauna- og floravurderingerne af Nørreå og Hadsten lilleå.

I Nørreåen kan iltforholdene bedres væsentligt ved beluftning og/eller nedsættelse af iltforbruget gennem Rindsholm dambrug og i mindre omfang ved reduktion af organisk stof.

Vandkvaliteten, udtrykt ved den stereotype florasammensætning og især masseforekomsten af trådalger efter spildevandsudledningerne i Nørreå og Hadsten lilleå, skønnes at kunne bedres ved nedbringelse af fosforindholdet i åvandet til ca. 0,05 mg/l (middelværdi, sommer).

Koncentrationsforholdene i systemet vedrørende tungmetaller, PCB og DDT, viser ikke kritiske niveauer, specielt er kviksølvindholdet i fisk fra de belastede søer Tange sø og Silkeborg langsø i aftagende. Tungmetalindholdet bør dog fortsat følges og vurderes.

De hygiejniske forhold i badeområderne er pæne, og såfremt der indføres fosforfældning, vil de hygiejniske forhold ved hovedstationerne i vandløbene bedres, idet dog badevandskriterierne generelt ikke kan forventes overholdt.

Gudenåsystemet må betegnes som et alsidigt fiskevand med mulighed for en væsentlig forbedring af havørredfiskeriet, såfremt forholdene ved Tange-trappen bringes i orden.

2. INDLEDNING

2.1 GUDENÅUNDERSØGELSENS FORMÅL

I perioden 1973 - 75 har Vejle, Viborg og Århus amtskommuner ladet gennemføre en række undersøgelser af Gudenåsystemets vandløb og søer samt Randers fjord - under eet betegnet GUDENÅUNDERSØGELSEN 1973 - 75.

Gudenåundersøgelsen blev planlagt som en kvalitativ og kvantitativ recipientundersøgelse i et samlet afstrømningsområde - Gudenå inklusiv kilder, bække og søer samt Randers fjord med Alling å med videre-- med det formål at bidrage med tilvejebringelsen af et rationelt beslutningsgrundlag med henblik på den videre udbygning af rensningsforanstaltninger og andre indgreb inden for afstrømningsområdet, således at den aktuelle vandkvalitet i Gudenå inklusiv Randers fjord forbedres hurtigst muligt, samt at der på længere sigt etableres mulighed for at opretholde en tilfredsstillende vandkvalitet i Gudenå og Randers fjord.

Dette vil sige, at undersøgelsen i sin konklusion skal:

angive systemets nuværende forurenings-tilstand og stofbelastning,

vejlede vedrørende fastsættelse af kvalitetskrav til recipienter og angive forslag til rensningsforanstaltninger og disses prioritering,

samt angive kontrolforanstaltninger.

Herudover må undersøgelsen pege på forhold, som ikke kunne undersøges indenfor rammerne af det fastsatte undersøgelsesprogram, og som påkalder sig fortsatte undersøgelser.

2.2 PROGRAM FOR GUDENÅUNDERSØGELSEN 1973 - 75

Nedenfor bringes en kort redegørelse for undersøgelsesprogrammet.

SPILDEVANDSTILFØRSLER OG ANDRE TILFØRSLER AF FORURENENDE STOFFER.

Gudenåsystemet inklusiv Randers fjord og Grund fjord-Alling å-systemet tilføres forurenende stoffer gennem direkte udledning af renset eller urenset spildevand fra husholdning, industri, landbrug og dambrug. Herudover tilføres systemet forurenende stoffer fra aflastningsbygværker og regnvandssystemer samt - i yderst varierende omfang - fra en række forskelligartede vandtilførsler, for eksempel drænvand.

En del af disse tilførsler er nemme at bringe under kontrol. Det gælder især de direkte spildevandstilførsler, som kan kontrolleres gennem passende rensning inden udledning. Andre af tilførslerne er vanskelige eller umulige at bringe under kontrol.

En undersøgelse af de direkte spildevandstilførsler og i videst muligt omfang også af andre tilførsler af forurenende stoffer har til formål at kortlægge dels den lokale tilførsel til de enkelte delområder og til Gudenåafstrømningsområdet som helhed, dels at kortlægge de forskellige forureningskilders andel i stoftilførslerne.

Med denne viden kan mulige indgreb over for forskellige typer af stoftilførsler vurderes, samtidig med at det kan angives, i hvilken rækkefølge eventuelle indgreb mest hensigtsmæssigt bringes til udførelse.

PRØVETAGNING.

Undersøgelsen har omfattet udtagning af vandprøver samt kvalitative og kvantitative analyser fra alle betydningsfulde direkte spildevandsudløb. Endvidere udførtes tilsvarende prøvetagning og analysering for en række hovedstationer fordelt ned gennem Gudenåen inklusiv tilløb og Randers fjord med videre. I forbindelse med prøveudtagningen bestemtes vandføringen og/eller vandudskiftningen.

Prøveudtagningen gennemførtes dels ved udtagning af repræsentative prøver - hver anden uge ved hovedstationerne - og dels ved mere intensive målerunder, hvor der ved den enkelte station er udtaget et større antal prøver med kortere mellemrum, for eksempel ved undersøgelsen af visse industriafløb, af nedbørsafstrømning og af vandløbsomsætning af organisk stof med mere.

ANALYSEPROGRAM.

Ved de fleste hovedstationer måltes i henhold til et standardprogram omfattende:

vandføring/vandudskiftning
kvælstofforbindelser, fosforforbindelser
partikulært og opløst organisk stof
temperatur, ilt og pH.

Ved visse undersøgelser er analyseprogrammet udvidet med kvantitativ bestemmelse af blandt andet

klorid, sulfat, magnium, natrium, kalium, calcium, alkalinitet, visse tunge metaller med videre.

Desuden er der gennemført kvalitative undersøgelser med henblik på kontrol af miljøfremmede stoffer og patogene bakterier.

Ved en række stationer er der for at skaffe viden om vandløbenes naturlige stoftransport foretaget materialetransportmålinger.

DATABEHANDLING.

Måle- og analyseresultater er overført til "Gudenåundersøgelsens databank", hvorfra de hentes frem i eventuelt bearbejdet form ved hjælp af EDB-programmer. Resultaterne er anvendt ved beregninger af vand- og stoftransporter i de forskellige afsnit af afstrømningsområdet samt ved opstillinger af vandkvalitetsmodeller, der kan benyttes til beregninger af forskellige indgrebs effekt. Endvidere er resultaterne anvendt ved beskrivelse af den aktuelle vandkvalitet og vil danne basisgrundlag for vurderinger i forbindelse med de kommende års kontrolforanstaltninger.

BIOLOGISK VANDKVALITET.

Undersøgelsen har omfattet vandets og bundens fysiske og kemiske forhold, vegetationens forekomst, sammensætning og produktion, dyrenes udbredelses- og produktionsforhold. Ved elektrofiskeri er for eksempel særlige vandområders fiskebestande undersøgt.

Undersøgelsen af den biologiske vandkvalitet er opdelt i:

primærproduktionsmålinger i søer og fjorde

undersøgelse af fastsiddende vegetation både i vandløb, søer og fjorde

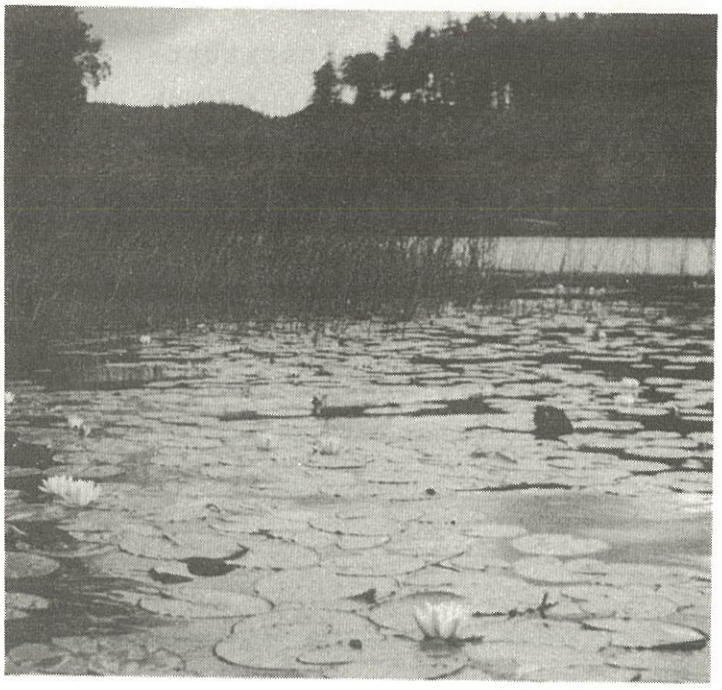
undersøgelse af vandløbsfauna og bundfauna i søer og fjordområder

fiskeribiologiske undersøgelser

undersøgelse af vandets fysiske og kemiske parametre

stoffernes udveksling med sedimentfase

mikrobiologiske undersøgelser med hensyn til beskrivelse af den hygiejniske vandkvalitet.



Slåen sø.

En detaljeret projektgennemgang er givet i "Projektbeskrivelse for Gudenåundersøgelsen, 1973 - 75", /42/.

2.3 DELTAGENDE INSTITUTIONER

I de undersøgelser, som er gennemført indenfor Gudenåens opland, har følgende institutioner og firmaer deltaget direkte:

Botanisk Institut, Århus Universitet
Cowiconsult, København
Det danske Hedeselskab, Slagelse
Det danske Hedeselskab, Viborg
Ferskvandsbiologisk Laboratorium, Københavns Universitet
Hygiejnisk Institut, Århus Universitet
Isotopcentralen, København
Laboratoriet for fysisk Geografi, Århus Universitet
Laboratoriet for teknisk Hygiejne, Danmarks tekniske Højskole
Vandkvalitetsinstituttet, Hørsholm
Zoologisk Institut, Lab. B., Århus Universitet

Desuden har levnedsmiddellaboratorierne i Horsens, Randers og Silkeborg samt medarbejdere ved amtsvandinspektoraterne og berørte kommuner deltaget.

En lang række enkeltpersoner og firmaer har herudover bidraget til undersøgelsens gennemførelse.

2.4 RAPPORTERING

De enkelte undersøgelser er blevet afrapporteret og afleveret til Gudenåudvalget, i alt 34 delrapporter, og en samlet oversigt over afleverede rapporter er givet i bilag 1.

De indsamlede data er i stort omfang overført til EDB-lagring, hvoraf udskrift er afleveret til Gudenåudvalget. En lang række rådata samt detailinformationer har det ikke været ønskeligt eller muligt at dokumentere, men ved henvendelse via Gudenåudvalget til respektive institutioner vil råmaterialet kunne stilles til rådighed.

I nærværende rapport - SAMLERAPPORT, Gudenåundersøgelsen 1973 - 75 - præsenteres sammenfattende resultater og konklusioner af undersøgelserne, gennemført indenfor Gudenåens opland.

3. GUDENÅSYSTEMET - GENERELLE OPLYSNINGER

3.1 GUDENÅEN OG GUDENÅSYSTEMET

Gudenåen - Danmarks længste å - har sit udspring på den jyske højderyg ved Tinnet Krat, hvor et andet af Danmarks store vandløb, Skjern å, ligeledes fødes.

Sagnet fortæller: "Den ustyrlige Gudar havde langt mod syd i Jylland ved åens udspring røvet en pige. Han bandt hende til sin kærre og drog nordpå; han styrede hesten i så indviklede sving og slyngninger som muligt, for at ingen skulle finde hans spor. Men pigens far løb til den kloge mand i Tørring og råbte og skreg om hjælp. Den kloge mand døjede meget med det; først prøvede han at sende ilden efter Gudar, for ild er hurtigst; men han brændte sine hænder, og flammerne ville ikke lystre ham. Så måtte han sende vandet. Han kaldte alle bække og kilder sammen, de tog til at fråde og larme og samlede sig til eet rasende vandlegeme, som forfulgte Gudars spor i alle dets slyngninger, rev jorden op og dannede en dyb kløft efter sig. Ved Randers fjord nåede vandet Gudar, begravede ham og kærren og hesten, mens pigen, den kønne Else, kom fri. Sådan blev Gudenåen til og fik navn efter den ustyrlige Gudar." /7/.

Fra den lille rislende kilde i Tinnet Krat og til Randers er Gudenåen 146 km lang, og fra Randers fortsætter åen ud i den 30 km lange Randers fjord, der står i forbindelse med Kattegat.

Gudenåens afstrømningsområde frem til Randers by dækker et areal på ca. 2.600 km^2. Inden for afstrømningsområdet findes ca. 550 kilder med øvre bæk, og foruden selve Gudenåen kan følgende større, vigtige vandløb nævnes:

Knud å
Mattrup å
Salten å
Tåning å
Funder å
Gjern å
Hinge å
Tange å
Nørreå
Hadsten lilleå.

Ofte afbrydes åernes løb af en sø. De fleste af de typiske langsøer i Gudenåsystemet ligger i tunneldale fra istiden. Der kan nævnes tunneldalen, der begynder i søerne ved Skanderborg og strækker sig gennem Mossø og Salten langsø og herefter mod sydvest til udmundingen ved Vrads, hvor isranden engang lå.

En anden tunneldal udgøres af landskabet, bestående af Ravnsø, Knudsø, Himmelbjerg- og Silkeborg søerne.

Søerne ved Viborg antyder ligeledes forløbet af et tunneldalsystem gennem Loldrup sø og fortsættende i Nørresø, Søndersø, gennem Nørreådalen, Ved sø og Hald sø. Gennem dette tunneldalsystem havde Gudenåen før og under sidste istid sit udløb i Limfjorden dels via Storåen og Karupå, dels via Skals å, men da ismasserne var forsvundet, kunne den bane sig vej ud til den mere nærliggende Randers fjord.

Vestbirksøerne og Tange sø er kunstige søer, dannet ved opstemninger, etableret i forbindelse med kraftværks anlæggelse i Gudenåens hovedløb omkring 1920.

Gudenåsystemet og Gudenåoplandet har fra gammel tid været et sted, hvor mennesker gerne ville slå sig ned, og de mange bopladser fra en jæger- og fiskerbefolkning har givet navn til en særlig "Gudenåkultur". I middelalderen var der i nærheden af Gudenå-

en store klostersamfund. Bedst kendt er Øm, benediktinerklostret Vorre, Alling kloster i Svostrup sogn samt Tvilum klosterkirke.

Gudenåens vandsystem har haft stor betydning som energiproducent og transportvej. Åernes vand har fra gammel tid været drivkraft for mølle efter mølle. Mest kendt som brugere af åens kraft er Hammer mølle, Vestbirk kraftstation, papfabrikken Klostermølle og Vilholt, Ry mølle, papirfabrikken i Silkeborg og elektricitetsværket ved Tange.

Fra Silkeborg til Randers foregik en vis skibstrafik før 1850, men med etableringen af Silkeborg Papirfabrik blev der sat system i "pramfarten", d.v.s. sejlads med pramme, som blev trukket af heste og mænd (lejemænd) fra Randers til Silkeborg. Der blev foretaget uddybning af hele åstrækningen, og langs denne etableredes den i dag stort set velbevarede pramdragersti. I takt med jernbanernes fremkomst gik pramfarten tilbage, og omkring år 1900 var pramme på Gudenåen en sjældenhed, og med Tange søs dannelse ophørte pramfarten.

I dag besejles Gudenåen og Gudenåsystemets søer dels af større turistbåde med et årligt passagertal på ca. 70.000, dels af kanoer, hvoraf der årligt udlejes 5.000 kanofarter Tørring - Silkeborg, og dels andre fritidsbåde. Lystfiskere benytter i stort tal vandsystemet. Skønsmæssigt er antallet ca. 100.000 årligt - og turisterne repræsenterer som sådan en vigtig brugergruppe af vandsystemet.

Hertil kommer erhvervsfiskeriet i systemet, for eksempel på søerne: Hald sø, Mossø, Salten langsø, Himmelbjergsøerne, Silkeborg langsø og Tange sø. En særlig form for erhvervsfiskeri findes ved Ry mølle, hvor der fanges ål ved brug af ålekister.

3.2 GUDENÅSYSTEMET - SPILDEVANDSFORHOLD

Gudenåområdets ca. 190.000 indbyggere udnytter som deres forfædre vandsystemet til transport af spildevand, og hertil kommer spildevand fra en række virksomheder. I alt skønnes virksomhederne at udlede spildevandsmængder, svarende til den, 170.000 personer (personækvivalenter, PE) ville udlede (dette betyder dog ikke, at forureningsmængderne fra virksomhederne svarer til 170.000 personer, og i visse tilfælde er der også tale om udledning af specielle forureningskomponenter).

En opgørelse pr. juni 1976 over ca. 95 kloakområder, hvor personækvivalentbelastningen er større end 200 PE, viser, at når spildevandet udledes, er

ca. 5 % urenset,

ca. 38 % mekanisk renset,

ca. 57 % mekanisk-biologisk renset og

ca. 1‰ mekanisk-biologisk-kemisk renset.

Disse forhold vil dog ændres inden udgangen af 1976, idet Silkeborg og Skanderborg byer vil have ændret de nuværende mekaniske rensningsanlæg til anlæg med mekanisk-biologisk-kemisk rensning.

Belastningsfordelingen kan skønsmæssigt opgøres, som følger:

Kloakerede områder > 200 PE	ca. 285.000 PE
Industrier med egen udledning	ca. 15.000 PE
Spredt landbebyggelse	60.000 PE
I alt	ca. 360.000 PE

En særlig gruppe vandbrugere udgøres af dambrug, af hvilke der er ca. 70 inden for Gudenåoplandet. Under Gudenåundersøgelsen var kun ca. 60 i drift, og forureningsbelastningen fra disse er skønsmæssigt af samme størrelse som den, 47.000 personer ville udlede.

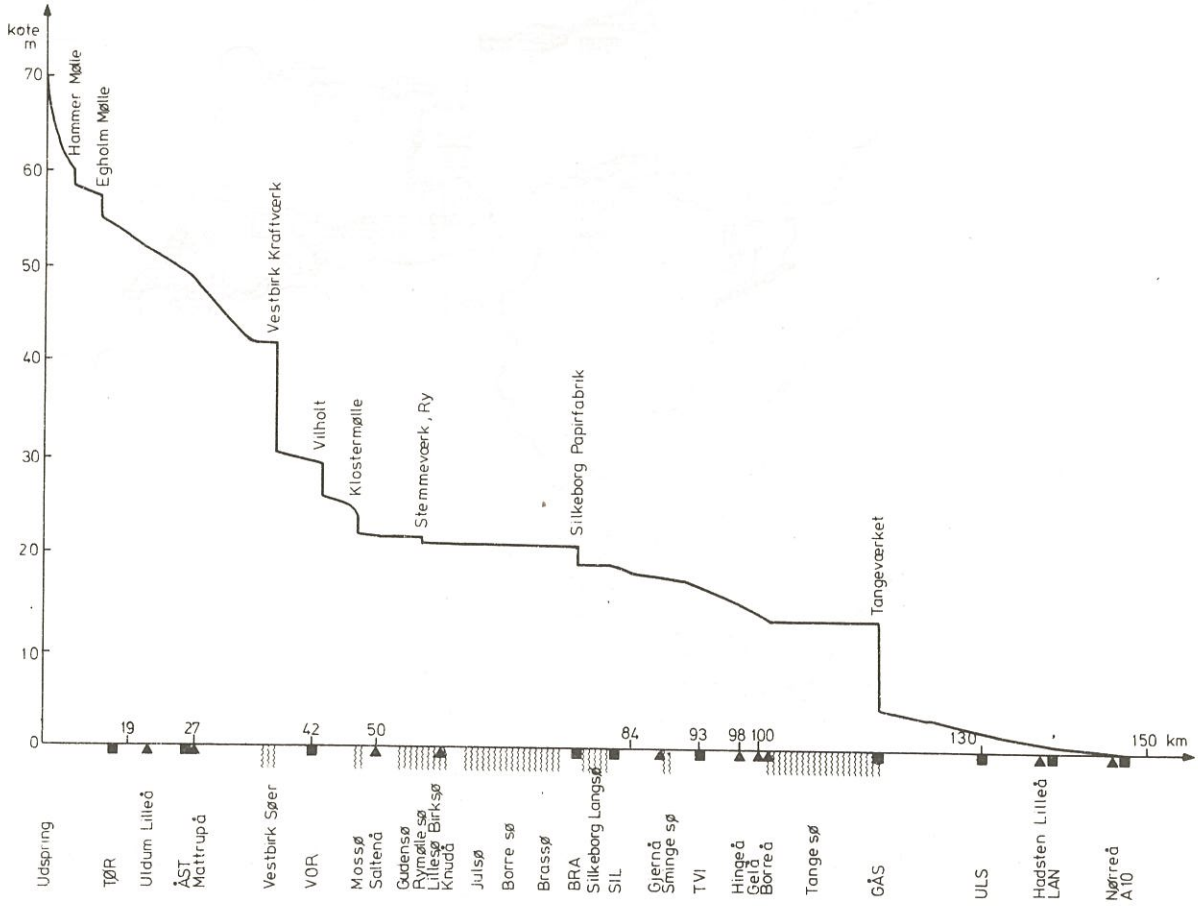
Den forbedrede hygiejne, den udbyggede kloakering af de voksende byområder og den stigende industrialisering i området har medført en øget udledning af mere eller mindre renset spildevand, et forhold, som er med til at præge recipientkvaliteten i Gudenåsystemets vandløb og søer.

4. GUDENÅSYSTEMET - FYSISKE FORHOLD OG NUVÆRENDE RECIPIENTKVALITET

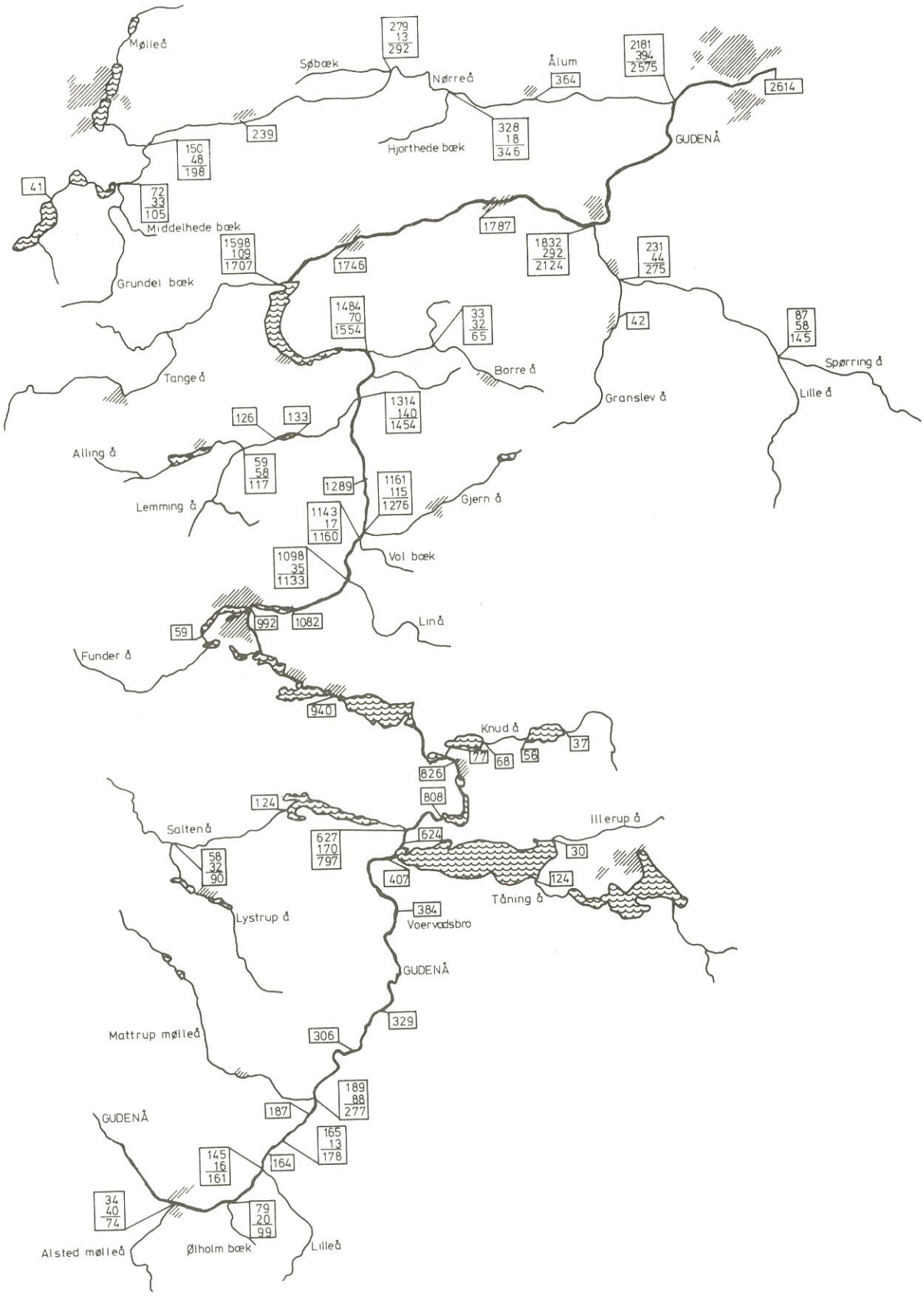
4.1 FYSISKE FORHOLD

4.1.1 TOPOGRAFISKE OG MORFOMETRISKE FORHOLD

På Gudenåens 146 km lange løb er faldet 70 meter. Når alle søer og vandløbsstrækninger regnes under et, er middelbundhældningen 0,47 m/km. Det største fald, idet der ses bort fra dæmninger og styrt, findes lige efter udspringet. Bundhældningen varierer ned ad åløbet, som det fremgår af figur 4.1.



Figur 4.1 Faldforhold på Gudenåens hovedløb.



Figur 4.2 Oplandsarealer (km^2) til Gudenåen og dens tilløb.

Bredder og dybder på vandløbsstrækningen varierer med årstid og vandføring. I /52/ findes data om middelbredder og middeldybder for Gudenåen i de perioder, hvor de intensive vandløbsundersøgelser blev gennemført. Ved Tørring er bredden på Gudenåen ca. 6 m, og ved Langå (Åbro) er den ca. 30 m.

Morfometriske data for de i systemet indgående søer, som er registreret ved denne undersøgelse, er summeret i tabel 4.1. Systemets største sø, Mossø, har et overfladeareal på ca. $17 \cdot 10^6$ m^2 og et volumen på ca. $150 \cdot 10^6$ m^3. Den mindste sø, der er registreret, er Ry lille sø med et overfladeareal på 10^5 m^2 og et volumen på $2 \cdot 10^5$ m^3.

4.1.2 TRANSPORT- OG OPHOLDSTIDER

Transporttider i vandløbet varierer med vandføringen, faldforhold m.m, og er bestemt for hver delstrækning i de intensive måleperioder i Gudenåundersøgelsen, Rapport nr. 11, Intensive vandløbsundersøgelser, 1976, /52/. Opholdstiden for søerne i systemet er beregnet på grundlag af vandtilførslen og søvolumenerne. I tabel 4.1 findes de beregnede middelopholdstider.

Gudenåens passage gennem Mossø er undersøgt ved en enkelt temperatur- og vindsituation under anvendelse af sporstofteknik. Figur 4.3 viser, hvorledes et sporstof fordeler sig efter indløb i søen, når vindretningen er NV. En del af sporstoffet forbliver i den vestlige del af søen og transporteres med Gudenåen, mens en anden del afsnøres og driver over i det østlige bassin, hvor det opblandes i søens vand. En mere udførlig redegørelse for Gudenåens op-

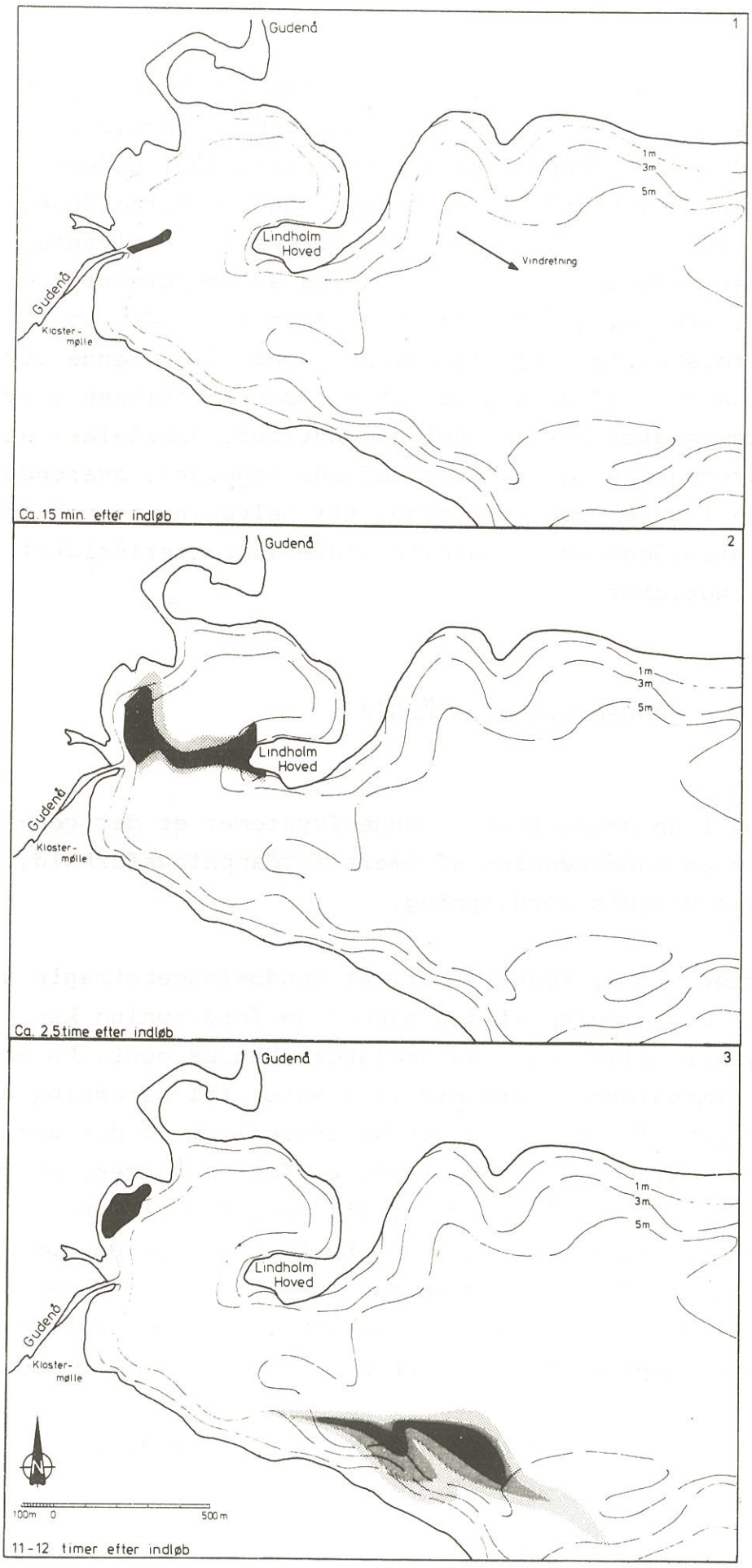
MORFOMETRISKE DATA FOR GUDENÅSYSTEMETS SØER

SØNAVN	Kortlagt år 19'	Vandspejlskote m over D. normal 0	Overfladeareal $\cdot 10^6 m^2$	Volumen $\cdot 10^6 m^3$	Maximum dybde m	Middel dybde m	Gsn. opholdstid døgn	Tværakse km	Længdeakse km	Opland direkte km^2	Opland til afløb km^2	Kortlagt af
ALLING	75	22,7	0,40	0,62	2,2	1,6	5,3	0,35	1,4	7	133	VIT
ALMIND	31	21,0	0,53	5,45	20,5	10,4	-	0,25	2,1	~ 1	~ 1	GI
BRAS	54	20,7	1,14	3,26	14,1	4,6	5,2	0,5	2,4	25	992	GI
BIRK	75	21,0	0,65	1,16	2,4	1,8	1,5	0,6	1,1	ca. 2	905	AT
BORRE	54	20,7	1,95	9,47	15,0	4,9	9,6	0,7	3,0	23	965	GI
GUDEN	75	22,3	1,33	3,25	4,3	2,4	4,3	0,4	3,3	3	811	AT
HALD	34	8,9	3,33	48,6	35	14,6	536	0,8	4,0	13,6	41	GI
HINGE	34	26,2	1,08	2,49	5	2,3	54	0,4	2,5	-	55	GI
HYLKE	34	23,5	3,15	22,30	16,3	7,1	(234)	1,3	2,9	-	-	GI
JUL	31	20,7	5,65	43,05	17,5	7,8	46	1,1	4,8	35	940	GI
KNUD	34	20,9	1,91	25,80	29,0	13,5	470	0,7	2,7	7,1	77	GI
MOSSØ	29	22,3	16,88	151,10	22,0	8,6	265	2,0	10,0	46	624	GI
LILLE, RY	75	21,0	0,10	0,20	5,2	1,9	-	0,2	0,45	-	-	AT
LILLE, SKANDERB.	34	23,5	0,23	0,44	3,8	1,9	-	0,3	0,8	-	-	-
NØRRE	34	11,2	1,22	8,60	12,2	7,0	274	0,6	2,1	6	37	GI
RAVN	34	21,8	1,87	27,1	33	15,3	808	0,6	2,2	17,2	56	GI
RINGKLOSTER	34	23,5	1,14	7,83	17	6,9	-	0,6	1,6	-	-	GI
RY MØLLE	75	22,3	0,41	0,73	4,8	1,8	1	0,2	1,8	8	826	AT
SALTEN L.	34	22,6	3,00	13,47	12,1	4,5	76	0,5	6,4	38	165	GI
SALTEN L., Ø	34	22,6	0,64	1,68	3,5	2,6	10	0,4	1,6	-	-	GI
SALTEN L., M	34	22,6	1,51	9,88	12,1	6,5	55	0,6	2,6	-	-	GI
SALTEN L., V	34	22,6	0,85	1,91	5,5	2,2	11	0,4	2,2	-	-	GI
SILKEBORG L., V	34	17,8	0,46	0,9	3,5	2,0	9,3	0,3	1,7	12	71	GI
SILKEBORG L., M	34	17,8	0,85	2,3	4,5	2,8	24	0,5	1,7	6	78	GI
SILKEBORG L., Ø	34	17,8	0,93	2,4	4,9	2,6	2,1	0,4	2,6	12,9	1082	GI
SKANDERBORG SØSYSTEM	34	23,5	8,62	59,9	18,8	7,6	740	-	-	-	120	GI
SLÅEN	54	20,7	0,19	1,4	11,5	7,3	-	0,2	1,0	~ 1	~ 1	GI
SMINGE	34	17,7	0,22	0,1	6,5	0,6	0,1	0,3	0,8		1276	GI
STORE, SKANDERB.	34	23,5	3,17	26,9	18,8	8,5	-	1,0	3,0	-	-	GI
SØBYGÅRD	72/74	34,0	0,39	0,11	2,1	1,1	9	0,12	0,3			VKI/GIÅU
SØNDER	34	11,2	1,44	5,2	7,0	3,6	146	0,7	2,1	5,8	45	GI
TANGE, SYD	75	13,7	1,24	2,1	5,6	1,7	1,6	0,3	7,2	15	1570	VKI/VIT
TANGE, NORD	75	13,7	4,51	12,3		ca. 3	9,4	0,6	8,0	24	1707	VKI/VIT
THOR	-	-	0,6	-	7	-	-	0,2	2,0	-	12	HM
TÅNING	34	23,5	0,46	1,1	6,5	2,3	11,2	0,4	1,4	3	120	GI
VEDSØ	34		1,47	6,7		4,6	29			11,5	73	GI
VESSØ	-	~ 22,7	0,60	1,2	-	ca. 2	180	0,4	1,5	-	7,6	-
VESTBIRK-SØERNE:												
VESTBIRK	75	42,3	0,37	1,2	5,0	3,2	3,1	0,4	0,9	-	+	VT
BREDVAD	75	42,3	0,18	0,18	2,8	1,0	0,5	0,2	1,2	-	340	VT
NALDAL	75	42,3	0,68	1,3	6,1	1,9	3,4	0,2	0,8	-	+	VT
VROLD	34	23,5	0,38	1,4	7,3	3,8	15,1	0,6	0,6	-	-	GI
ØRN	34	17,8	0,42	1,7	10,5	4,1	18,3	0,5	1,1	~ 2	54	GI

FORKORTELSER: GI : GEODÆTISK INSTITUT, HM : HANS MATHIESEN, VKI : VANDKVALITETSINSTITUTTET, VI : VEJLE AMTSRÅD OG THORKILD HØY, AI : ÅRHUS AMTSRÅD OG THORKILD HØY, VIT : VIBORG AMTSRÅD OG THORKILD HØY, GIÅU : GEOGRAFISK INSTITUT, ÅRHUS UNIVERSITET.
Ø: ØSTLIGE BASSIN. M: MIDTERBASSIN. V: VESTLIGE BASSIN.

Tabel 4.1 Opstilling af de vigtigste morfometriske data for de undersøgte søer. Der er anvendt eksisterende angivelser, opmåling på kortmateriale, beregninger og i visse tilfælde skøn. Sammenhængen mellem oplandsangivelserne er følgende:

SUMMEN AF OPLANDE TIL SØINDLØB + OPLAND DIREKTE TIL SØ + SØOVERFLADE = OPLAND TIL AFLØB.



Figur 4.3

Eksempel på vandtransport gennem Mossø. Et radioaktivt sporstof, som er doseret ved Klostermølle, har delt sig i to mængdemæssigt lige store dele, hvoraf den ene del lejres i søens vestlige ende, medens den anden del opblandes i søens midterbassin.

blanding med Mossø findes i /20/, som konkluderer, at gennemstrømnings- og opblandingsforløbet i Mossø er overordentlig afhængig af vandtemperaturen i Gudenåen, temperaturfordelingen i søen, og vindforholdene. Det må af denne grund anbefales, at der til belysning af disse forhold foretages opmåling af temperaturprofiler i søen og indløbsvandets temperatur under et antal forskellige vejrsituationer. Det vil i denne forbindelse være af vigtighed, at få døgnvariationen i åvandets temperatur belyst. Det må endvidere anbefales, at der foretages et antal sporstofundersøgelser, svarende til den i rapporten beskrevne, til belysning af opblandingsforholdene under enkelte andre (karakteristiske) vejrsituationer.

4.1.3 FORDAMPNING FRA MOSSØ

Som led i undersøgelsen af Gudenåsystemet er der gennemført en undersøgelse af søers fordampningsforhold, specielt Mossø's fordampning.

Rapporten, /25/, konkluderer, at vandbalancebetragtninger til bestemmelse af den månedlige fordampning kun er mulig, hvis alle led i vandbalancen kendes godt. En extern varmebalance viste sig mere egnet til beregning af fordampning fra søer. Da det hovedsageligt er den kortbølgede solindstråling, der styrer fordampningen, er det rimeligt at se bort fra varmetilførsel fra tilløb og nedbør. De nødvendige data til bestemmelse af en søs månedlige fordampning er meteorologiske data fra nærmeste klimastation, søens temperaturfordeling og kendskab til søens hypsograf. Fig. 4.4 viser Mossø's hypsograf.

Undersøgelsen konkluderer for Mossø 1975 følgende:

1975-vandbalancen for Mossø stemmer bedst, hvis man benytter fordampningsværdier fra den externe varmebalance.

Indsættelse af fordampningstal fra Søndersø eller "fordampning = nedbørstilnærmelsen" forøger afvigelsen.

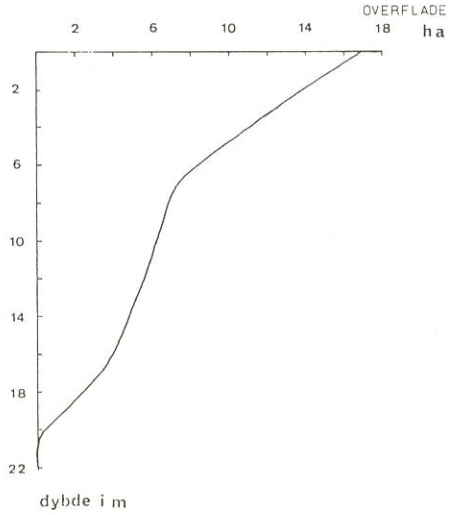
Fordampningen fra Mossø i 1975 er bestemt til 792 mm, hvilket er ca. 22 % større end Søndersø-tallet, der normalt benyttes ved opstilling af vandbalancer.(Søndersø, København).

Dette illustrerer, at man risikerer at underestimere fordampningen betydeligt ved ukritisk at benytte Søndersø-tallet.

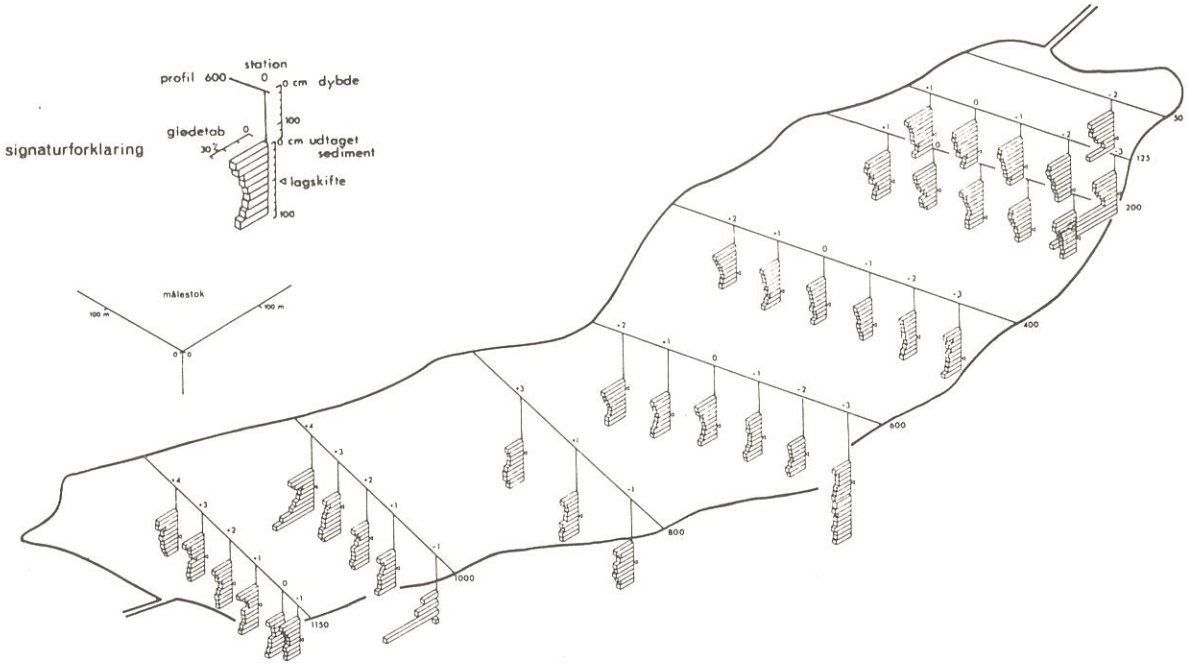
4.1.4 SØBYGÅRD SØ

Søbygård sø er undersøgt i 1972, /38/, ved Forundersøgelsen af Gudenåen. Søen har ret mægtige sedimentlag med lavt N/P-forhold, hvilket skyldes at søen er spildevandsbelastet.

I forbindelse med Gudenåundersøgelsen 1973-75 er der gennemført en nærmere undersøgelse af sedimentforholdene i søen. Undersøgelsen er foretaget af Laboratoriet for fysisk Geografi, Geologisk Institut, Århus Universitet, /24/. Undersøgelsen konkluderer, at søen på grund af spildevandspåvirkningen dels er blevet betydeligt mere lavvandet siden 1908 og dels er formindsket arealmæssigt på grund af bredvegetationens udbredelse.



Figur 4.4 Hypsograf for Mossø, fra /1/.



Figur 4.5 Søbygård sø. Kort over indhold af organisk stof (glødetab) i udtagne sedimentsøjler. I hvert profil er vist (med en pil), hvor et lagskifte kan observeres. Over lagskiftet findes udprægede kulturaflejringer, /24/.

Figur 4.5 viser, hvorledes sedimentets glødetab varierer i dybden (ned til ca. 90 cm), på forskellige lokaliteter i søen.

Vandkvaliteten i Søbygård sø er nærmere behandlet i afsnit 4.5.5.

4.1.5 AFSTRØMNINGSFORHOLD

Det danske Hedeselskab har fra eftersommeren 1973 til september 1975 stået for drift af et net af hydrometriske stationer i Gudenåsystemet. Det eksisterende net af hydrometriske stationer har i perioden været suppleret med temporære stationer oprettet specielt til Gudenåundersøgelsen, og en del af de nyoprettede målestationer skal fortsat være i funktion efter amtskommunernes ønske.

I forbindelse med Gudenåundersøgelsen blev der oprettet 23 vandføringsstationer, til løbende registrering af vandstand og derefter beregning af daglig vandføring. De supplerende stationer er anbragt, så alle betydende tilløb til systemet er bestemt med hensyn til vandføring.

I større søer er der anbragt vandstandsstationer til registrering af vandstand.

Tabel 4.2 er en stationsfortegnelse, som samtidigt viser, i hvilke perioder hver enkelt station har været i drift.

Figur 4.6 viser Gudenåsystemet med de hydrometriske stationer indlagt.

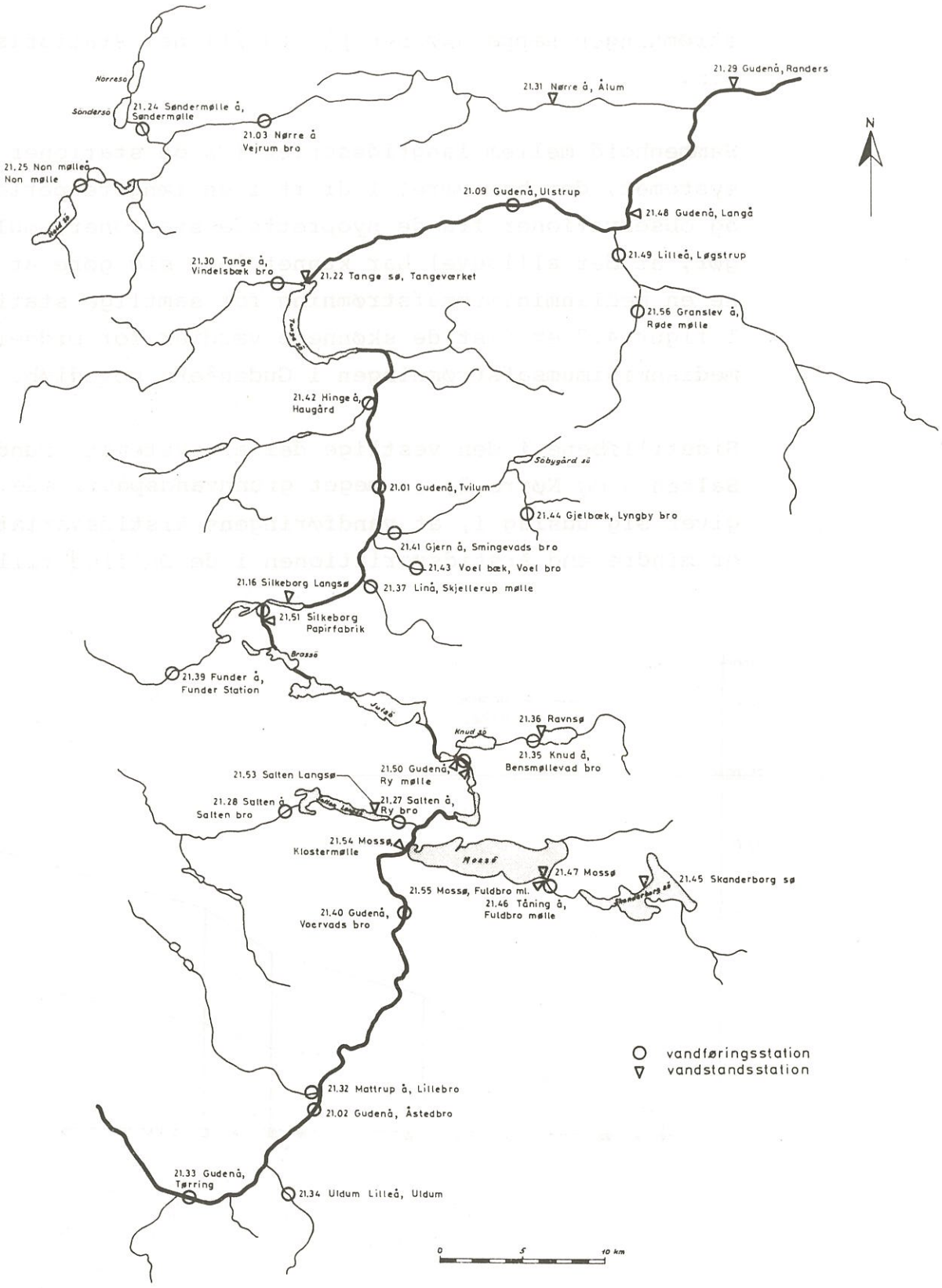
En traditionel statistisk behandling af måleresultaterne over den korte periode (2 år), hvor stationsnettet har været i drift, er næppe mulig. For eksempel kan minimumsaf-

St.nr.	N A V N	Type	Opland km^2	Oprettet	Stations-kode
21.01	Gudenå, Tvilum	Q	1289	05.1917	TVI
21.02	Gudenå, Åstedbro	Q	187	05.1917	ÅST
21.03	Nørre å, Vejrumbro	Q	239	06.1917	VEJ
21.09	Gudenå, Ulstrup	H	-	07.1924	ULS
21.09	Gudenå, Ulstrup	Q	1787	09.1973	-
21.22	Tange sø, Tangeværket	H	-	09.1973	GÅS
21.24	Søndermølle å, Søndermølle	Q	46	09.1973	SØN
21.25	Non mølleå, Non mølle	Q	41	09.1973	-
21.27	Salten å, Ry bro	Q	169	09.1973	RYB
21.28	Salten å, Salten bro	Q	124	09.1973	SAB
21.29	Gudenå, Randers, Motorvejsbro	H	-	09.1973	A 10
21.30	Tange å, Vindelsbæk bro	Q	109	09.1973	TAN
21.31	Nørre å, Ålum	H	-	09.1973	ÅLU
21.32	Mattrup å, Lillebro	Q	88	09.1973	MAT
21.33	Gudenå, Tørring	Q	74	09.1973	TØR
21.34	Uldum lilleå, Uldum	Q	24	09.1973	ULD
21.35	Knud å, Bensmøllevad bro	Q	56	09.1973	BEN
21.36	Ravnsø, Bensmøllevad bro	H	-	09.1973	-
21.37	Linå, Skjellerup mølle	Q	35	09.1973	LIN
21.39	Funder å, Funder st.	Q	44	10.1973	FUN
21.40	Gudenå, Voervadsbro	Q	384	10.1973	VOR
21.41	Gjern å, Smingevads bro	Q	115	10.1973	GJE
21.42	Hinge å, Haugård	Q	140	10.1973	HIN
21.43	Voel bæk, Voel bro	Q	10	10.1973	-
21.44	Gjelbæk, Lyngby bro	Q	12	10.1973	GJE
21.45	Skanderborg sø, Skanderborg	H	-	10.1973	-
21.46	Tåning å, Fuldbro mølle	Q	124	10.1973	TÅN
21.47	Mossø, Fuldbro mølle	H	-	10.1973	-
21.48	Gudenå, Langå	H	-	10.1973	LAN
21.49	Lilleå, Løgstrup mølle	Q	304	10.1973	HAD
21.50	Gudenå, Ry mølle	Q	826	10.1973	-
21.51	Gudenå, Silkeborg Papirfabrik	Q	992	10.1973	SIL
21.53	Salten langsø	H	-	05.1974	-
21.54	Mossø, Klostermølle	H	-	06.1974	-
21.56	Granslev å, Røde mølle	Q	43	08.1974	GRA

Q : VANDFØRINGSSTATIONER

H : VANDSTANDSSTATIONER

Tabel 4.2 Stationsfortegnelse

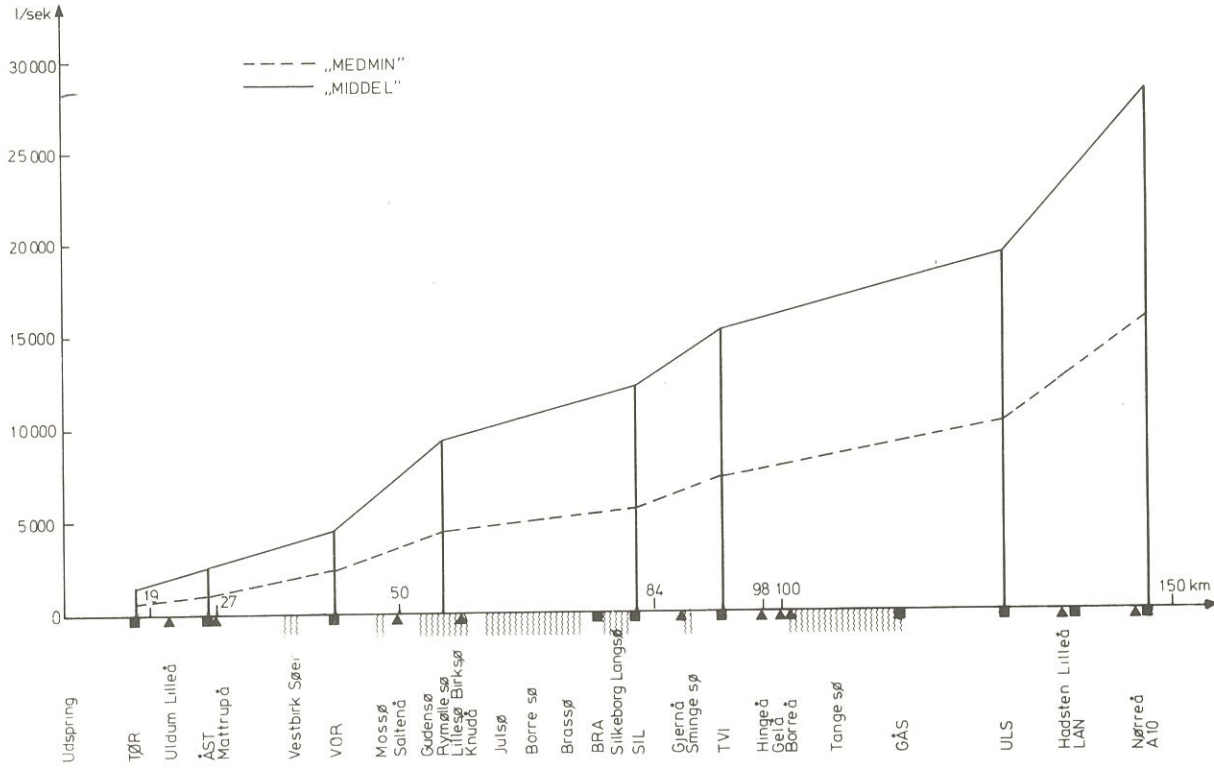


Figur 4.6 Hydrometriske stationer i Gudenå-systemet, / 9/.

strømningen næppe skønnes på traditionel statistisk vis.

Sammenhold mellem langtidsserier fra de stationer i systemet, der har været i drift i en længere periode, og observationer fra de nyoprettede stationer, muliggør, at det alligevel har kunnet lade sig gøre at skønne en medianminimumsafstrømning for samtlige stationer. I figur 4.7 er vist de skønnede værdier for middel og medianminimumsafstrømningen i Gudenåens hovedløb.

Sidetilløbene i den vestlige del af systemet, Funder å, Salten å og Nørre å, er meget grundvandspåvirkede, hvilket giver sig udslag i, at vandføringens årstidsvariation er mindre end årstidsvariationen i de østlige tilløb.

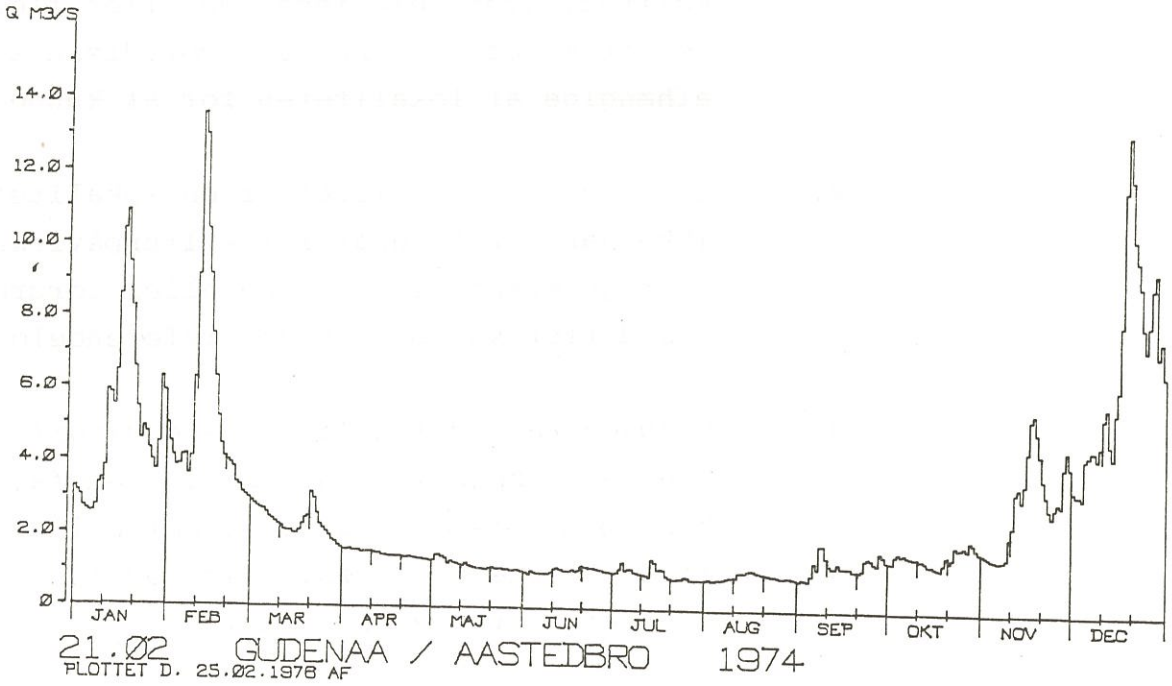


Figur 4.7 Skønnede værdier af medianminimum, "MEDMIN", og middelvandføringen i Gudenåens hovedløb.

I tabel 4.3 er sommerafstrømningen for Åstedbro for 1974 og 1975 anført til sammenligning med samme stations medianminimum. Daglig middelafstrømning ved Åstedbro for 1974 er vist i figur 4.8.

		1974	1975
Middel for juli/aug.	l/s	970	880
Årsminimum (mindste observation af daglig middelafstrømning)	l/s	814	748
Medianminimum	l/s	865	

Tabel 4.3 Afstrømningstal for Åstedbro.



Figur 4.8 Daglig middelafstrømning ved Åstedbro 1974. Fra / 9 /.

4.2 UNDERSØGELSEN VEDRØRENDE KILDER

4.2.1 KILDER OG ØVRE VANDLØBSSTRÆKNINGER - ZOOLOGISKE UNDERSØGELSER

Gudenåsystemets ca. 550 kilder samt øvre bækområder er i forbindelse med Gudenåundersøgelsen 1973 - 75 blevet registreret. Af disse er ca. 200 kilder udvalgt til en nøjere undersøgelse af dyrelivet (makroinvertebratfaunaen).

Formålet med kildeundersøgelsen har været at registrere naturhistorisk værdifulde lokaliteter i kilde- og øvre bækområder, idet en naturhistorisk værdifuld lokalitet er defineret som følgende:

1. Den klassiske værdifulde lokalitet er en lokalitet, hvor der findes en eller flere arter, der er meget sjældne, og hvor disse arter er afhængige af lokaliteten for at kunne overleve.

2. En værdifuld lokalitet er en lokalitet, der ikke har været udsat for kulturpåvirkning i form af regulering, rørlægning eller forurening, og som derfor kan bruges som referencelokalitet.

3. Desuden kan en lokalitet være værdifuld i restaureringsmæssig henseende, idet faunaen kun kan retableres i et forurenet eller på anden måde påvirket vandløb, hvis der kan ske en rekruttering fra et rent tilløb.

Af de ca. 550 bække i Gudenåsystemet henligger ingen på hele deres løb i uberørt tilstand. Af de 200 mindst regulerede lokaliteter, der er undersøgt, var ca. 77 af naturhistorisk værdi, mens de resterende er for kulturpåvirkede til at have nogen naturhistorisk interesse.

De kulturindgreb, der i langt de fleste tilfælde har påvirket bække og kilder, er: regulering, rørlægning samt spildevandspåvirkning.

Som nævnt henligger ingen bække i uberørt tilstand, men nogle er dog over et længere stykke af deres løb uberørte og særdeles værdifulde. Her kan for eksempel nævnes en bæk ved Troldbjerg, der er tilløb til Gjern å. Denne ser ud til at være fuldstændig uberørt i kildeområdet samt ureguleret på en længere strækning.

Skrænt-kilderne i Rødkjær består af en række små skrænt-kilder, som virker uberørte på strækningerne opstrøms reguleringer og rørlægninger. Endelig er kildeområderne og første del af bækken ved Sminge vandmølle næsten uberørte.

Der er fundet nogle lokaliteter, der huser en særdeles sjælden fauna. Der kan her for eksempel nævnes Ørredsø bæk til Salten å, Tjærbæk i Toholt skov, Stabelbæk ved Byvadsbro, Bjergskov bæk med tilløb og endelig Granslev å.

Der er en del lokaliteter, hvor kraftigt forurenede eller regulerede vandløb har rene tilløb eller kildeområder, der er værdifulde i restaureringsmæssig henseende. Der kan for eksempel nævnes, at bækken til sydsiden af Dollerup bæk er en upåvirket lokalitet, mens Dollerup bæk er forurenet. Kilder til Hulbæk, to små helokrener, er værdifulde i restaureringsmæssig henseende, da deres afløb går til den stærkt forurenede Hulbæk. Granslev å er et af de få vandløb i Gudenåsystemet, der stadig har en intakt rentvandsfauna.

Der er ikke forsøgt nogen gradsinddeling af de værdifulde bække, men nogle få skiller sig dog ud, enten på grund

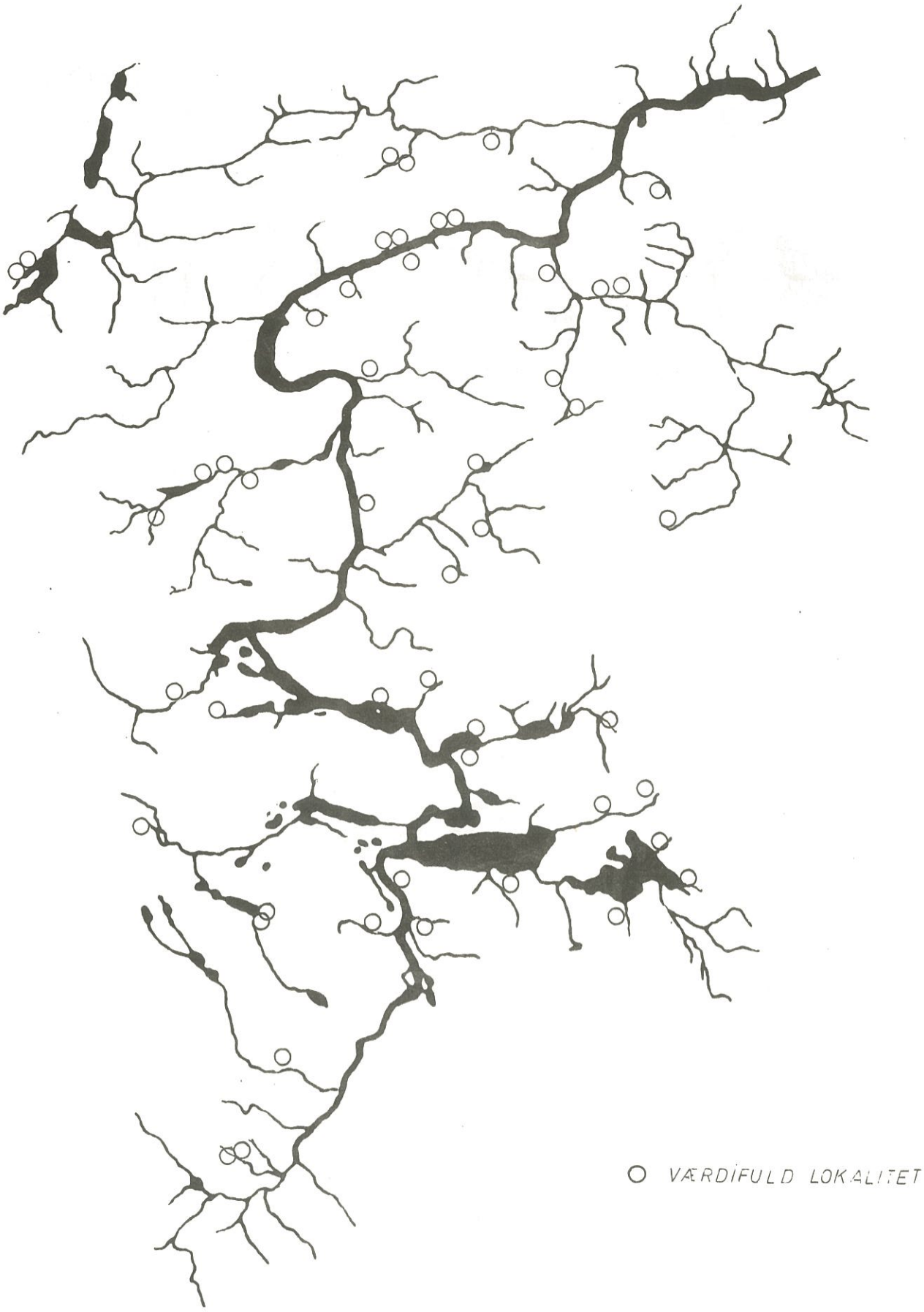
af uberørt tilstand, særlig sjælden fauna eller stor restaureringsmæssig betydning. Disse særligt gode "3-stjernede lokaliteter" er vist på figur 4.9
49 lokaliteter betegnes som naturhistorisk værdifulde og ses på figur 4.10.

Udover den naturhistoriske værdi, som uberørte naturområder generelt har, er det med henblik på retablering af forurenede vandløb af stor betydning at bevare kildeområderne uberørte. Man sikrer derved, at der gives mulighed for rekruttering og genetablering af en rentvandsfauna i de nedstrøms dele af et vandløbssystem, efter at der for eksempel er iværksat rensningsforanstaltninger. Hvis kildeområdet ikke er bevaret, vil denne mulighed ikke være til stede.

Det bør derfor overvejes, om det ville være hensigtsmæssigt at sikre kildeområderne ved fredning. Det vil i mange tilfælde være realistisk, da det tit kun er nødvendigt at bevare områder på 50 gange 50 meter, som i forvejen kun bliver anvendt til kreaturgræsning.

Undersøgelsesresultater samt oversigt over samtlige besøgte kildelokaliteter er afrapporteret i Gudenåoplandet - kildeundersøgelser, Zoologisk Institut, 1976, /62/.

Figur 4.9 Kildelokaliteter af restaureringsmæssig betydning eller uberørte kilder, /62/.



Figur 4.10 Naturhistorisk værdifulde lokaliteter blandt Gudenåens kildeområder, /62/.

4.2.2 KILDER OG ØVRE VANDLØBSSTRÆKNINGER - VANDKEMI OG FLORA

Undersøgelsen af kilder og øvre vandløbsstrækningers vandkemi og flora blev indledt af Botanisk Institut i 1971, og er rapporteret i Botanisk Institut, Århus Universitets: "Kildeundersøgelser i Gudenåområdet",1975,/5/. Det har været en væsentlig del af undersøgelsens formål at belyse vandkvaliteten i kildeområder til brug som referenceværdi ved vurdering af vandkvaliteten i vandløb og søer samt at kvantificere de næringsstoffer, kvælstof og fosfor, der tilføres vandløbene gennem den diffuse afstrømning i de øverste dele af vandløbssystemerne: den naturlige eutrofiering.

KILDER OG ØVRE VANDLØBSSTRÆKNINGER

I kildeundersøgelsen er der indgået 15 kildeområder, beliggende nogenlunde jævnt fordelt mellem Øster Vrå vest for Frederikshavn og Tvilho syd for Billund. 6 af disse kildeområder har afløb til Gudenåsystemet.

Kilderne er primært udvalgt på grundlag af sammensætningen af den vegetation, der findes i de pågældende kildeområder og på grundlag af et ønske om størst mulig variation i det geologiske underlag.

I de undersøgte kildeområde forekommer en flora, hvis sammensætning indikerer enten en ubetydelig eller i hvert fald kun en ringe kulturpåvirkning som for eksempel græsning og let gødskning. I øvrigt repræsenterer disse områder størst mulig variation af ringe kulturpåvirkning, lige fra hvor denne er begrænset til den for landet mere eller mindre generelle grundvandssænkning, til områder med såvel gødskningseffekt som græsning og færdselspåvirkning.

Inddeling af kilder finder almindeligvis sted på grundlag af deres udseende i tre typer, der alle har det fælles, at de har afløb gennem en kildebæk: I bassinkilden (limnokrenen) strømmer grundvandet frem i bunden af et større eller mindre bassin.

I strømkilden (rheokrenen) dannes kildebækken umiddelbart ved grundvandets fremtrængen til jordoverfladen.

Langt hyppigere end disse to typer kilder, der vel især kendes fra Store Blåkilde og Ravnkilde i Rold Skovområdet, er dog sumpkilden (helokrenen), hvor grundvandet diffust siver frem på et mere eller mindre velafgrænset område. Sumpkilderne findes ofte på sandet til gruset bund, men forekommer også hyppigt i forbindelse med humusaflejringer af op til flere meters tykkelse, som arealmæssigt kan strække sig over flere ha.

De to sidstnævnte kildetyper lader sig næppe skarpt adskille. Vore vandløb har i langt overvejende grad deres naturlige oprindelse i grundvand, der således diffust siver frem. Vandløbene bliver under deres løb gradvist større, mere vandførende, selv om de tilsyneladende "ikke modtager tilløb".

Vandbevægelsen i kilderne afhænger i høj grad af grundvandets oprindelse. Man kan i den forbindelse skelne mellem to typer af grundvand: det interstitielle grundvand, der udfylder hulrummene i finkornede jordarter, har ringe bevægelighed. Spaltegrundvandet, der findes i dybere liggende jordlag, har relativt stor bevægelighed. Den sidste type grundvand kendes især fra Himmerland, hvor det sprækkefyldte kridt ligger meget højt. Men spaltegrundvandet kendes også fra områderne langs den jyske højderyg og er her betinget af meget grovkornede moræneaflejringer.

Afstrømningsmålinger har været udført på 6 lokaliteter, hvor det har været muligt at afgrænse kildeområdet med rimelig stor sikkerhed.

KILDERNES BELIGGENHED

Kilderne er anført i rækkefølge efter deres geografiske beliggenhed fra nordøst til sydvest. Kun kilder med afløb til Gudenåen er mere udførligt beskrevet her.

Krogensmølle bæk (1317 IV NØ) i Nordjyllands amt. Området ligger i dalbunden langs Krogensmølle bæk med afløb til denne.

Øster Vrå (1317 IV SØ) i Nordjyllands amt. Området ligger i dalbunden langs Voers å med afløb til denne.

Hellum (1317 IV SØ) i Nordjyllands amt. Området ligger i dalbunden nord for Hellum med afløb til Hellum bæk.

Ilsø (1216 II NØ) i Nordjyllands amt. Området ligger umiddelbart vest for søen Ilsø og har afløb til Villestrup å gennem Ilsø.

Kielstrup (1316 III SV) i Nordjyllands amt. Området ligger i vinklen mellem Karlsmølle bæk og Kielstrup sø med afløb til Kielstrup sø.

Kjellerup (1315 IV NV) i Århus amt. Området ligger i den vestlige del af Kjellerup sø - bassinet med afløb til Kastbjerg å gennem Kjellerup sø.

Vinkel (1215 I SV) i Viborg amt. Kildeområdet, der er vanskeligt af afgrænse, findes langs skrænterne i Nørreådalen på den sydlige side af åen og har afløb til Nørreå. Største bredde på det undersøgte område er 32,5 m med et fald på 3,7 m eller 113 o/oo. Humuslag af mægtighed på op til 3 m.

Bredsgårde (1215 IV SØ) i Viborg amt. Området ligger sydvest for den tidligere Bredsgårde sø og har afløb til Fiskbæk å. Området er nogenlunde velafgrænset. 172000 m^2 med en middelafstrømning på 0,46 l/time/m^2.

Hald (1215 III NØ) i Viborg amt. Området, der er velafgrænset, dækker 320 m^2 og er beliggende på skrænterne, der skråner fra Niels Bugges bænk over mod Gjelbæk. Afløb til Gjelbæk. Terrænet har et fald på 5,3 m over en strækning på 28 m eller 190 o/oo. Der findes igen humusaflejringer. Middelafstrømning på 24,7 l/time/m^2.

Dollerup (1215 III NØ) i Viborg amt. Området, der er velafgrænset, er beliggende på skråningerne sydvest for Hald sø og har afløb til Hald sø via Dollerup bæk. Terrænet har et fald på 3,7 m over en strækning på 60 m eller 128 o/oo. Humuslag af mægtighed på op til 1 m. Et areal på 1800 m^2 med en middelafstrømning på 15,2 l/time/m^2.

Sillerup (1214 IV SØ) i Vejle amt. Området, der er velafgrænset, er beliggende i dalstrækningen neden for den kunstige sø, Kolsø. Afløb til Salten å. Terrænet har et fald på 2,5 m over en strækning på 73 m eller 34 o/oo. Humuslag af mægtighed på 6,5 m. Et areal på 30000 m^2 med en middelafstrømning på 6,7 l/time/m^2.

Addit (1214 I SV) i Vejle amt. Denne kilde afviger fra alle øvrige kilder i undersøgelsen ved at være stærkt overskygget af en bevoksning af Rødel og Birk. Vegetationen afviger i øvrigt også stærkt fra de andre kildelokaliteter, men er medtaget som referencelokalitet i forbindelse med blandt andet diatomé-undersøgelser i kilderne. Et velafgrænset areal på 1600 m^2 med middelafstrømning på 30,8 l/time/m^2. Afløb til Salten langsø.

Tinnet (1214 III SØ) i Vejle amt. Området er ret velafgrænset og beliggende i dalbunden mellem Tinnetgård og Kovtruphus. Terrænet har et fald på 2,4 m over en strækning på 43 m eller 56 o/oo. Afløbet udgør Gudenåens øverste løb. Et areal på 23000 m^2 med en middelafstrømning på 2,54 l/time/m^2. Humuslag på over 3,5 m.

Høllund bro (1113 I SØ) i Ribe amt. Området ligger i dalbunden langs Holme å med afløb til denne.

Tvilho (1113 II NØ) i Ribe amt. Området ligger i dalbunden langs Nørrebæk og har afløb til denne.

METODER FOR INDSAMLING AF VANDPRØVER

I alle kildeområderne har der været etableret faste stationer for prøvetagning af vand fra henholdsvis sumpkilde/strømkilde og kildebæk: I sumpkilder ved at placere et PVC-drænrør lodret som indsamlingsreservoir for vandet. Drænrøret har haft en længde af 60 eller 80 cm og har været overtrukket med en nylonstrømpe som filter. Disse brønde har i øvrigt været lukket i bunden og været forsynet med et dobbelt låg.

Indsamling af vandprøver har fundet sted månedligt på alle lokaliteter i perioden maj 1972 - maj 1974.

Undersøgelsen konkluderer følgende baseret på målinger fra 15 undersøgte jyske kildeområder:

Normalkoncentrationen af FOSFOR i afløbsvand fra kilder i Jylland er af størrelsesordenen:

0,059 mg P/liter

Normalkoncentrationen af KVÆLSTOF i afløbsvand fra kilder i Jylland er af størrelsesordenen:

0,380 mg N/liter.

Koncentrationerne er angivet som totalværdier målt på filtrerede prøver.

4.3 VANDLØBSUNDERSØGELSER

4.3.1 VANDLØBSBIOLOGI

Faunaundersøgelsen i Gudenåsystemets vandløbsdele omfatter indsamling af prøver fra i alt 112 stationer, fordelt i hele systemet.

Den biologiske vandkvalitet er vurderet ved anvendelse af saprobiesystemet i form af en skønnet og en beregnet saprobiegrad samt ved hjælp af artsdiversitetsindex.

Formålet med faunaundersøgelsen har været af skaffe et overblik over Gudenåsystemets bundfaunavariation, set i relation til spildevandsbelastningen.

Der er indsamlet prøver på de hovedstationer, i alt 30, der er anvendt i forbindelse med Gudenåundersøgelsen 1973-75, Rapport nr. 12, Stoftransport, 1976, /53/. Der er endvidere indsamlet prøver på en række lokaliteter med særlige forhold, f.eks. steder med intensiv dambrugsdrift, efter søafløb samt i områder med særlig stor belastning.

Der er foretaget 4 prøvetagningsserier:

SERIE	1	:	marts 1974
	2	:	august 1974
	3	:	marts 1975
	4	:	juli 1975

De anvendte vurderingssystemer og -metoder er følgende:

1. Skønnet saprobiegrad (efter landbrugsministeriets retningslinier)

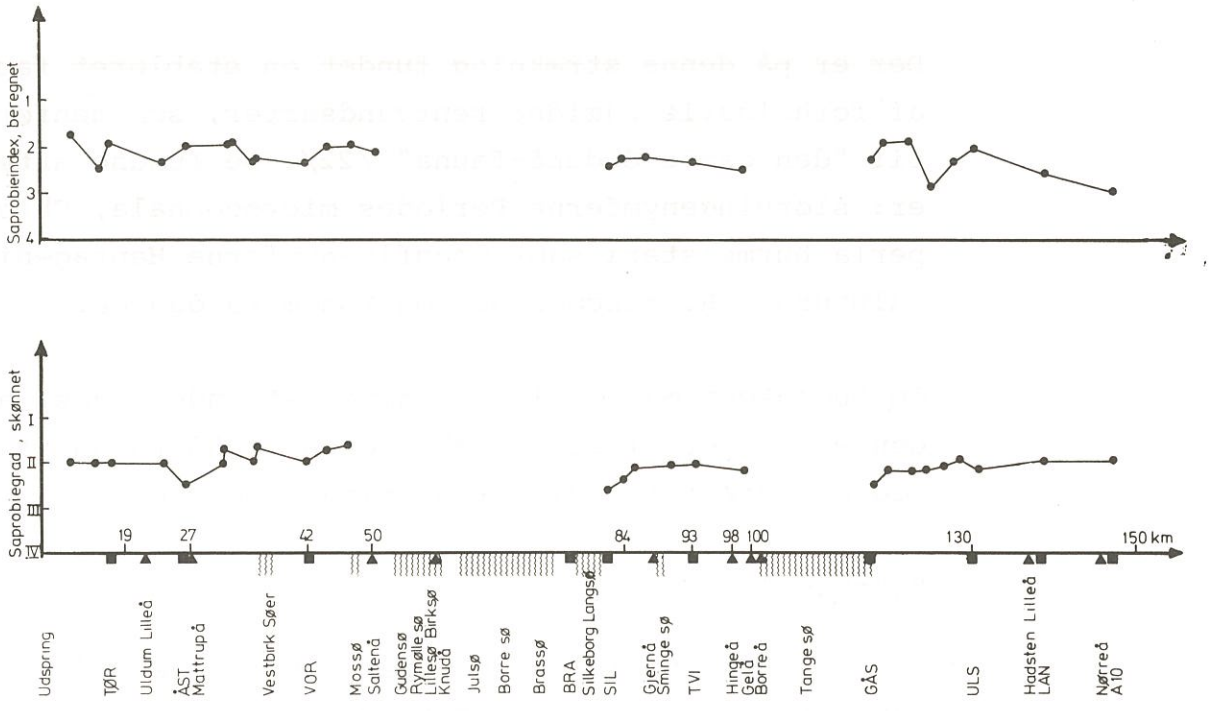
2. Saprobieindex ($S_{incl.\ og\ excl.\ G}$ - Sladecek /35/)

3. Margalefs index / 27/

4. Shannon - Weaver index / 33/

5. Redundancen.

Nogle af faunaundersøgelsens resultater er vist i figur 4.11, hvor de skønnede og de beregnede saprobieindices i Gudenåens hovedløb er sammenlignet. Den skønnede saprobiegrad for hele systemet er vist i bilag 2.



Figur 4.11 Sammenligning mellem skønnede saprobiegrader og beregnede saprobieindex i Gudenåens hovedløb.

Den biologiske vandkvalitet er i det følgende beskrevet strækningsvis:

ØVRE GUDENÅ

Den øvre Gudenå strækker sig fra Gudenåens udspring til Mossø. Forureningsgraden er som helhed bedømt til at være II. Gudenåen løber umiddelbart efter sit udspring og indtil Tørring by igennem et område, der er meget sandet og næringsfattigt. Dette - i forbindelse med gennemførte vandløbsreguleringer - medfører, at faunaen ikke bliver alsidig. På en strækning omkring Bredsten bro og Bredvad mølle forekommer den mest alsidige fauna.

Forureningsgraden på denne strækning er I - II, II. Dette gælder også den sidste del af Gudenåen inden udløbet i Mossø ved Kloster mølle.

Der er på denne strækning fundet en etableret fauna af forholdsvis sjældne rentvandsarter, som henføres til "den gamle Gudenå-fauna" /22/. De fundne arter er: slørvingenymferne Perlodes microcephala, Chloroperla burmeisteri samt døgnfluenymferne Heptagenia sulphurea, H. fuscogrisea og Ephemera danica.

Om Gudenåens øvre del kan sammenfattende siges, at den er præget af et forløb igennem landbrugsområder med spredte tilledninger af mindre mængder spildevand.

Mattrup å

er påvirket af spildevand fra Klovborg rensningsanlæg og af flere dambrug. På Mattrup å er beliggende to søer, Halle og Stigsholm, den ene næringsrig, den anden desuden landbrugs- og dambrugspåvirket. Faunaen i vand-

løbet påvirkes af dambrugenes og søernes tilstedeværelse. Saprobiegraden for vandløbet som helhed ligger omkring II.

Salten å

De mange dambrug, der ligger langs åen, påvirker saprobiegraden. Som helhed bedømmes saprobiegraden til at være mellem II og III, nærmest II. På steder med høj vandhastighed er forureningsgraden mindre, og hvor åen er langsomt flydende, stiger forureningsgraden. Salten å tilføres en del organisk stof fra sidetilløbet, Lystrup å, som via Kvindsø og Kulsø er belastet med spildevand fra Bryrup.

Funder å

Vandhastigheden i Funder å er meget stor. Blødbundsarter er derfor ikke blandt de fremherskende i selve strømløbet. Lokalt ved bredderne kan der opstå mudderbund med en dertil svarende fauna. Faunaen i Funder å er desuden påvirket af okkerudsivning og dambrugsdrift. Forureningsgraden i den undersøgte del af åen svinger mellem II og III. Indtil Funder stationsby er forureningsgraden II. Fra Funder stationsby næsten ned til Ørn sø er forureningsgraden - på grund af åens særlige karakter - med forbehold bedømt til at være mellem II og III.

GUDENÅENS MELLEMSTE DEL

Gudenåens mellemste del strækker sig fra Silkeborg langsø til Tange sø. Saprobiesystemet lader sig vanskeligt anvende til vurdering af forureningen, især på strækningen umiddelbart efter Silkeborg langsø idet den organiske stofbelastning hovedsagelig består af planktonalger. Beregning af forskellige indices,

udført på det indsamlede materiale, afspejler en tydelig påvirkning stammende fra organisk stof og plankton fra søen. Påvirkningen skønnes at strække sig indtil Tvilum. Forureningsgraden for strækningen fra Tvilum til Tange sø er bedømt til at være mellem II og III.

Tange å

I Tange å er der påvist en tydelig virkning fra udledningerne af spildevand fra Kjellerup og Rødkærsbro. Forureningsgraden umiddelbart efter disse to udledninger stiger fra II og til II - III. Tange å bærer umiddelbart efter Thorning præg af forurening med spildevand. Bortset fra de nævnte forhold er saprobiegraden vurderet til II.

NEDRE GUDENÅ

Nedre Gudenå strækker sig fra Tange sø til Randers fjord ved hovedvej A 10. Saprobiebedømmelsen lader sig vanskeligt gennemføre på grund af Gudenåens størrelse på denne strækning. Ved vurdering af det indsamlede materiale kan konkluderes, at organisk stof i form af plankton fra Tange sø påvirker bundfaunaen. Påvirkningen strækker sig fra Tange sø og til Bjerringbro. En virkning fra udledningen af spildevandet fra Bjerringbro kan ikke findes. Af tabel 4.4 ses, at Bjerringbro rensningsanlæg kun øger Gudenåens transport af BI_5 med ca. 1 % på det pågældende sted. Denne belastning er væsentlig mindre end belastningen fra Tange sø. Forureningstilstanden i den nedre Gudenå vurderes bedre efter beregning af Margalefs index end ved beregning af saprobieindex. At saprobieindex dårligt kan anvendes på strækningen, fremgår bl.a. ved, at forholdene nedstrøms Tangeværket vurde-

res forskelligt ved anvendelsen af den skønnede saprobiegrad og det beregnede saprobieindex ($S_{incl.\ G}$).

Hadsten lilleå

Hadsten lilleå er Gudenåsystemets mest forurenede større å. Især efter udledningerne i Hadsten og Søften forekommer høje forureningsgrader. Forureningen fra Hadsten by strækker sig nedstrøms indtil Gudenåen. Ud over de nævnte tilledninger findes flere spredte tilledninger af mindre mængder spildevand samt stofudledning fra et dambrug, Løjstrup mølle.

Efter Hadsten by er forureningsgraden IV. Forholdene bedres noget inden udløbet i Gudenåen ved Langå.

Nørreåen

Nørreåen er i forhold til Gudenåen et langsomt flydende vandløb. Nørreåen starter som afløb fra Vedsø, og en del af vandet udnyttes umiddelbart efter udløbet af søen ved Rindsholm dambrug. Organisk stof fra Vedsø og Rindsholm dambrug samt fra rensningsanlægget i Rindsholm påvirker bundfaunaen ca. 4 km efter Rindsholm. Før Søndermølle å udledes spildevand fra papfabrikken i Bruunshåb, og ca. 100 m nedstrøms Søndermølle udledes spildevand fra Viborg bys rensningsanlæg. Saprobiegraden øges her fra II til III. Forureningsgrad III strækker sig et stykke, hvis længde varierer med årstiden, ned ad Nørreåen. I marts 1974 fandtes forureningsgraden III indtil Viskum. Fra Viskum til Ålum var forureningsgraden mellem II og III, og fra Ålum til udløbet i Gudenåen var forureningsgraden II - III, II.

Nørreåen er ved sit langsomme løb ret påvirkelig af tilledning af organisk stof, idet geniltningen er lille. Stigningen af forureningsgraden i Nørreåen anses hovedsagelig for at være betinget af udlednin-

gen af Viborg bys spildevand, som repræsenterer Gudenåsystemets største enkeltudledning, vurderet på basis af antallet af PE-ækvivalenter og recipientkapacitet.

I forbindelse med bundfaunaundersøgelsen er det vurderet, om en given tilførsel af organisk stof har haft indflydelse på saprobiegraden.

I tabel 4.4 er vist rensningsart, belastningen med organisk stof, BI_5, samt den procentvise forøgelse af organisk stof i recipienten. Ved at betragte tabellen ses, at der ved en ringe forøgelse af belastningen ingen ændringer er i saprobiegraden før og efter udledningen (Ulstrup, Resenbro og Bjerringbro). På de resterende lokaliteter ses imidlertid en ændring af forholdene før og efter rensningsanlægget. Der er imidlertid ikke nogen éntydig sammenhæng mellem forøgelsen af belastningen og ændringen i saprobiegraden. Dette skyldes bl.a., at arten af rensning har betydning. Desuden er tilstanden oven for udledningsstedet af betydning for en given ændring i saprobiegraden, idet en lokalitet, der i forvejen er belastet til et vist niveau, kan belastes relativt mere, uden det kan registreres ved en saprobiegradsændring.

	Rensningsart	Belastning kg BI_5 · døgn^{-1}	%-forøgelse af åens BI_5-transport	Saprobiegrad før udledning	Saprobiegrad efter udledning
Bjerringbro	biol.	55	1	II-III,II	II-III,II
Bruunshåb	biol.	309	46	II	III
Brædstrup	biol.	20	-	I-II	II
Hadsten	ingen	575	1052	II-III	IV
Kjellerup	biol.	76	128	II	II-III
Klovborg *)	mek.	-	7	II	II-III
Resenbro	biol.	10	0	II-III,II	II-III,II
Rødkærsbro	biol.	40	-	II	II-III,II
Søften	biol.	-	-	II	IV
Tørring	biol.	30	33	II	II-III,II
Ulstrup	mek.	69	2	II	II
Åle	mek.	14	12	II	II-III

*) Ud over spildevandet fra Klovborg bliver der desuden tilledt stofmængder fra dambrug.

Tabel 4.4 Eksempler på belastningens art og størrelse sat i relation til ændringen i saprobiegraden.

Faunaundersøgelsen har givet anledning til følgende konklusion:

Forureningsgraden efter saprobiesystemet ligger i Gudenåsystemet oftest omkring grad II, svarende til "ret svagt forurenet".

En påvirkning med organisk stof kan konstateres, og i mange tilfælde kan påvirkningen henføres til bestemte kilder.

Mellem 5 og 10 % af de mere betydende vandløbsstrækninger i Gudenåsystemet kan betegnes med en forureningsgrad større end eller lig med grad III, og kun ganske få procent af den samlede strækningslængde er karakteriseret ved en forureningsgrad på IV.

Der er fundet en god overensstemmelse mellem den skønnede forureningsgrad og det beregnede saprobieindex $S_{incl.\ G}$. Ved saprobiegrader større end III optræder der imidlertid uoverensstemmelser mellem den skønnede saprobiegrad og $S_{incl.\ G}$. For at opnå en bedre overensstemmelse mellem disse to størrelser vil det være nødvendigt at gennemføre en kalibrering, som imidlertid ligger uden for rammerne af Gudenåundersøgelsen.

Årstidsvariationerne i saprobiegraderne er små, af størrelsesorden 1/4 grad.

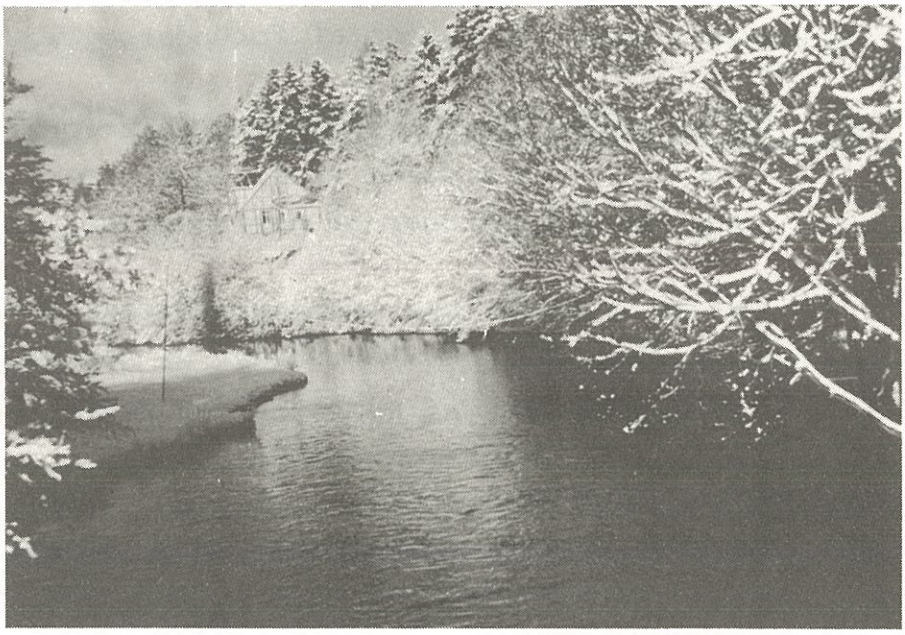
Årstidsvariationerne forekommer oftest på stationer, beliggende umiddelbart efter spildevandstilløb.

På nogle strækninger i Gudenåsystemet, f.eks. Gudenåens nedre løb, lader saprobiesystemet sig kun anvende med forbehold. Margalefs index er bedst egnet til at karakterisere faunabilledet på disse strækninger.

Store spildevandsudløb har i de fleste tilfælde en påviselig effekt, og effekten afhænger bl.a. af rensningsgrad.

Kun i få tilfælde kan det fastslås, hvor langt nedstrøms en virkning kan registreres, fordi der kun findes få lange, ubelastede strækninger, som ligger efter et spildevandsudløb.

På Gudenå strækningen mellem Bresten bro og Klostermølle er der fundet en etableret fauna af forholdsvis sjældne rentvandsarter, som henføres til "den gamle Gudenå-fauna" /22/. De fundne arter er: slørvingenymferne Perlodes microcephala, Chloroperla burmeisteri samt døgnfluenymferne Heptagenia sulphurea, H. fuscogrisea og Ephemera danica.



GUDENÅ VED VOERVADSBRO

4.3.2 VANDLØB - UNDERSØGELSE AF FLORA

På udvalgte lokaliteter er der udført undersøgelser af floraen i Gudenåsystemets vandløbsdel. Undersøgelserne er foretaget af Botanisk Institut, Århus Universitet.

Formålet med undersøgelsen har været at registrere vegetationstypers udbredelse, biomasse og tilvækst i relation til spildevandsbelastning, herunder dambrug samt til mekanisk/fysiske påvirkninger (vandløbsregulering, grødeskæring og oprensning).

Tilrettelæggelsen af undersøgelsen bygger på følgende hypoteser, bl.a. begrundet af forundersøgelsesresultater:

at der ikke forekommer simple relationer mellem vandløbsvegetationens stofproduktion og åvandets koncentrationer af næringssalte,

at der normalt ikke i Gudenåvandløbene forekommer begrænsninger i grødetilvækst på grund af manglende tilførsel af kvælstof- og fosforkomponenter. Dette gælder også for de rene vandløb,

at der er en sammenhæng mellem substrat- og vegetationsforhold, og at der består en relation mellem vandhastighed/sedimentation/vegetation,

at lav årsproduktion for vandløbsvegetationen oftest skyldes:

Skyggevirkning fra en tæt bestand af træer. En rigelig forekomst af epifytiske mikroalger (for eksempel en stigende produktion af disse nedenstrøms dambrug eller i forbindelse med andre forureninger).

En rigelig forekomst af trådformede alger (ofte større måtter af grønalger nedenstrøms dambrug eller i forbindelse med andre forureninger).

at såvel forurening som vandløbsregulering medfører stor ensformighed i henseende til vegetationsudvikling.

Udfra ovennævnte hypoteser er der specielt lagt vægt på følgende vandløbsstrækninger:

Mattrup å, Gjern å, Hadsten lilleå og Spørring å.

- Mattrup å på grund af, at vegetationen indtil for få år siden har været meget varieret og artsrig, og at tilledning af spildevandet ikke er tiltaget.

- Gjern å, for at kunne følge effekten af den iværksatte spildevandsrensning i Hammel.

- Hadsten lilleå og Spørring å, da dette vandsystem dækker et bredt spektrum med hensyn til spildevandspåvirkning samt omfatter strækninger fra de mest regulerede og uddybede til de mest uberørte. Endelig er dette system valgt for at følge effekten af de iværksatte rensningsforanstaltninger ved Hadsten by.

Vandløbsvegetationen over langt de største strækninger af Gudenåsystemet har en meget ensformig karakter. Resultaterne af undersøgelsen viser, at Elodea canadensis (vandpest) og Sparganium simplex (enkelt-pindsvineknop) er de 2 arter, som forekommer mest talrigt. Særligt i forurenede vandløb er Potamogeton crispus (kruset vandaks) nu meget hyppigt forekommende, men kruset vandaks har i kvantitativ henseende ikke så stor betydning som vandpest og pindsvineknop.

De i produktionsmæssig henseende mest betydningsfulde vegetationforekomster er de bestående af Sparganium simplex og Elodea canadensis, samt lokaliteter udelukkende med Sparganium simplex. Hyppigt målte biomasseværdier på lokaliteter med artsrig vegetation er 200 - 250 g tørstof/m^2. Biomassen efter en åoprensning er målt til 1 - 5 % af biomassen forud for oprensningen 1 - 10 g tørstof/m^2.

Biomassen af Sparganium simplex er efter dambrug målt til 590 g tørstof/m^2.

Biomassen af vandløbsvegetation udsat for skyggeeffekt af træer er målt ned til 50 g tørstof/m^2. Men biomassen kan på samme lokalitet varierer betydeligt fra år til år.

Med hensyn til sammenhæng mellem næringsstoffer og planteproduktion konkluderer / 4 / følgende:

> "Direkte relationer mellem koncentrationer af næringssalte i vandfasen og produktion af grødebiomasse kan af flere grunde ikke forventes.
>
> Der består i almindelighed heller ikke nogen direkte og simpel relation mellem forekommende mængder af vandløbenes algevegetationer (særligt her som epifyter og trådformede grønalger) og koncentrationer af næringssalte i åvandet.
>
> Imidlertid forekommer der aldrig belastende og langvarige masseforekomster af hverken epifyter eller af de trådformede grønalger ved meget lave P-koncentrationer.
>
> Som vejledende og foreløbig grænseværdi foreslås anvendt ca. 0,05 mg/l total-P (middel/vækstperiode), idet denne koncentration ikke nås i de reneste vandløb, som er uden belastende algevegetation".

Undersøgelsen konkluderer i øvrigt, at der er en nøje sammenhæng mellem vandhastighed, bundforhold og vegetation.

Ved de mekanisk-fysiske indgreb påvirkes de indbyrdes forhold i almindelighed således, at der indledes eller forstærkes et successionsforløb, som vil føre mod de ensformige vegetationstyper.

Med hensyn til vegetationens kvalitative udvikling er denne bestemt af:

Grødeskæring og oprensning der berører de underjordiske plantedele.

Ændring i bundforhold, for eksempel ved oprensning og regulering.

Forekomst af blød bund/stenet bund.

Transport i åvandet og sedimentation af partikulært materiale.

Lysforhold, for eksempel skygge fra træer og anden bredvegetation.

Forekomst af epifytiske mikroalger (kiselalger og andre alger).

Forekomst af større alger (mest som trådformede grønalger).

Indhold i åvandet af for eksempel planktonalger; jernforbindelser, der kan udfældes; humus og så videre.

Undersøgelsen er afrapporteret af Botanisk Institut, 1976, /4/.

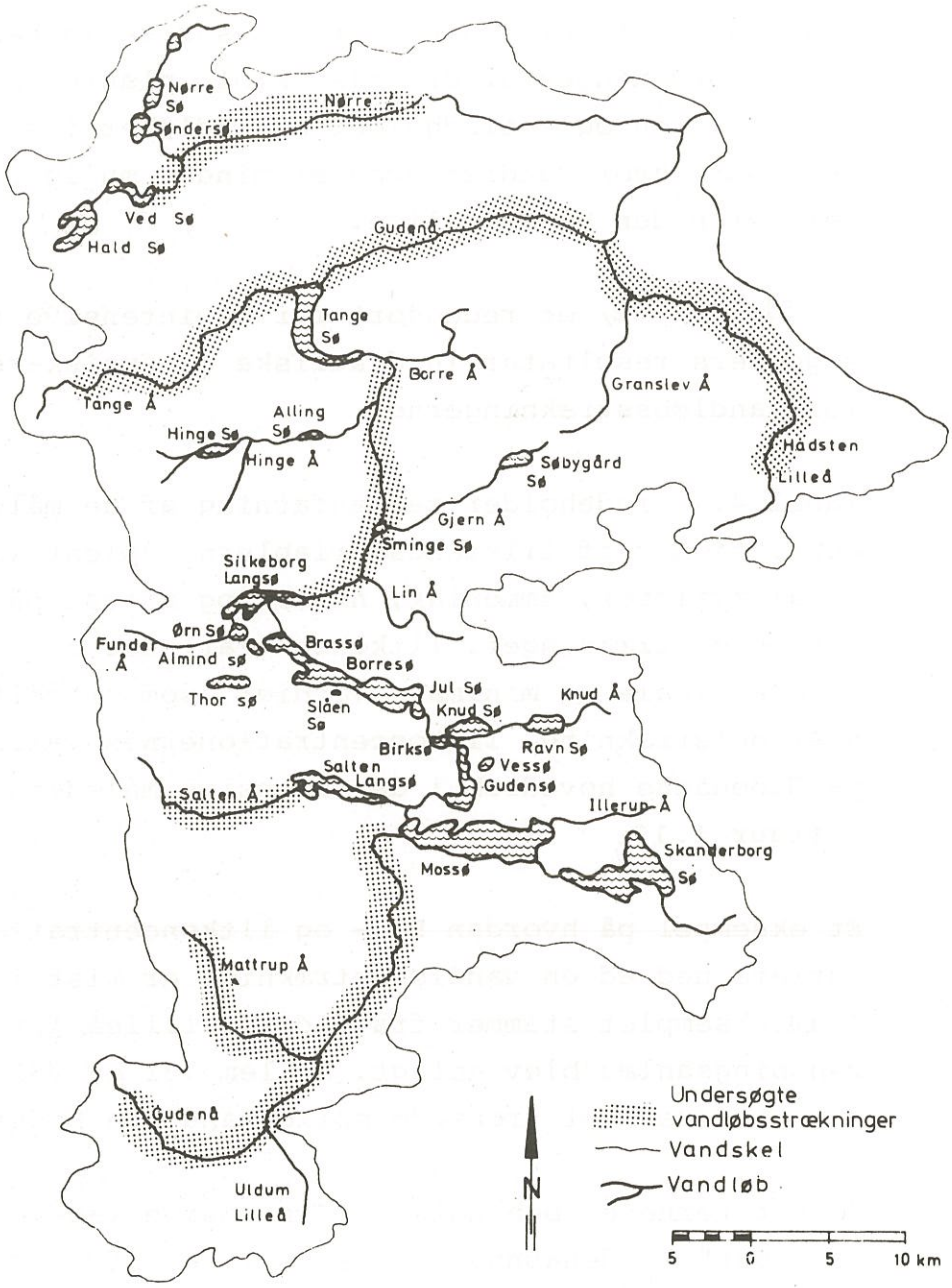
4.3.3 INTENSIVE UNDERSØGELSER

Intensive undersøgelser, omfattende hydrauliske og kemiske målinger, er gennemført som ét-døgnsmålinger på følgende vandløbsstrækninger i Gudenåsystemet:

VANDLØBSSTRÆKNINGER	UNDERSØGELSESTIDSPUNKT
Gudenåens hovedvandløbsstrækning. (Fra Tørring til Langå)	25-26/6-1974, 2-3/7-1974, 13-14/8-1974, 27-28/8-1974
SIDETILLØBENE:	
Mattrup å	4-5/7-1974
Salten å	11/11-1974, 14-15/4-1975, 27-28/8-1975
Tange å	10-11/6-1975
Hadsten lilleå	29-30/8-1974
Nørreåen	21-22/8-1973, 20-21/8-1975

Tabel 4.5 Tidspunkter for intensive undersøgelser.

Ved "Intensivundersøgelserne" har desuden Det danske Hedeselskab, Isotopcentralen, Laboratoriet for teknisk Hygiejne, Vejle, Viborg og Århus amtsvandvæsener medvirket.



Figur 4.12 Kort over Gudenåsystemet, hvorpå de undersøgte strækninger er vist.

Formålet med "Intensivundersøgelserne" har været at fremskaffe et materiale, der belyser sammenhængen mellem nedbrydningen af organisk stof, plantevæksten, geniltningen og iltindholdet i vandløbet i sommerperioder, hvor vandføringen er mindst mulig og temperaturen den højst mulige.

I /51/ og /52/ er redegjort for de intensive undersøgelsers resultater (hydrauliske og fysisk-kemiske) for vandløbsstrækningerne.

Tabel 4.6 indeholder sammenfatning af de målte koncentrationer af tilstandsvariablerne opløst ilt, BI_5, total-kvælstof, ammoniak, nitrit og nitrat på de undersøgte strækninger. Iltkoncentrationer er opgivet som maksimale og minimale værdier, som er målt for hver delstrækning. Iltkoncentrationernes variation på Gudenåens hovedløb i de intensive måledøgn er vist i figur 4.13.

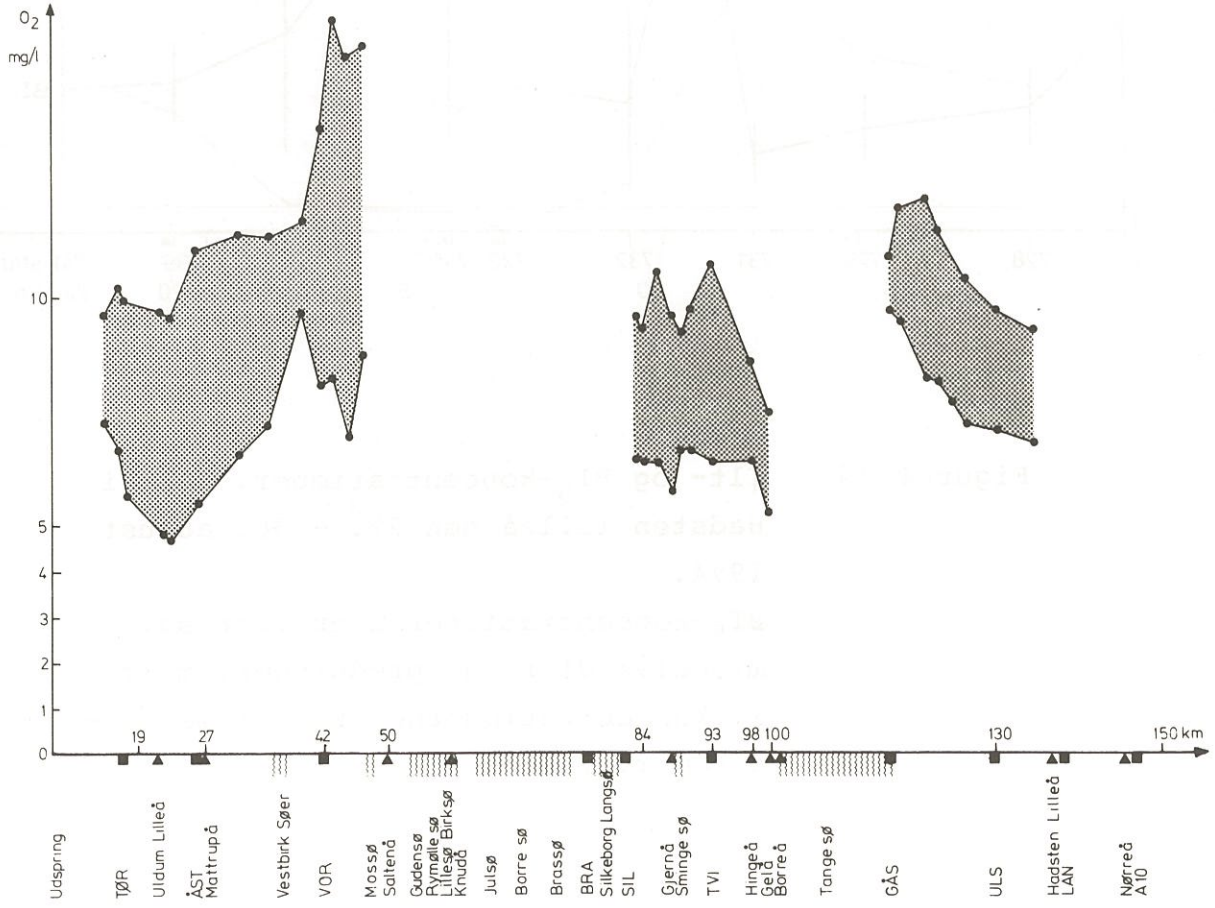
Et eksempel på hvordan BI_5- og iltkoncentrationen kan variere ned ad en vandløbsstrækning er vist i figur 4.14.Eksemplet stammer fra Hadsten lilleå, før Hadsten rensningsanlæg blev anlagt. Mellem 731 og 732 på figuren tilføres det urensede spildevand fra Hadsten by.

Resultaterne er behandlet i "Intensive vandløbsundersøgelser", Gudenåundersøgelsen, 1976, /52/, "Undersøgelse af Salten å", Gudenåundersøgelsen. 1976, /50/, "Intensive vandløbsundersøgelser, Nørre å", Gudenåundersøgelsen, 1973, /51/ og "Vandløbsmodel, Nørre å - Alternativberegninger", VKI, 1976, /59/.

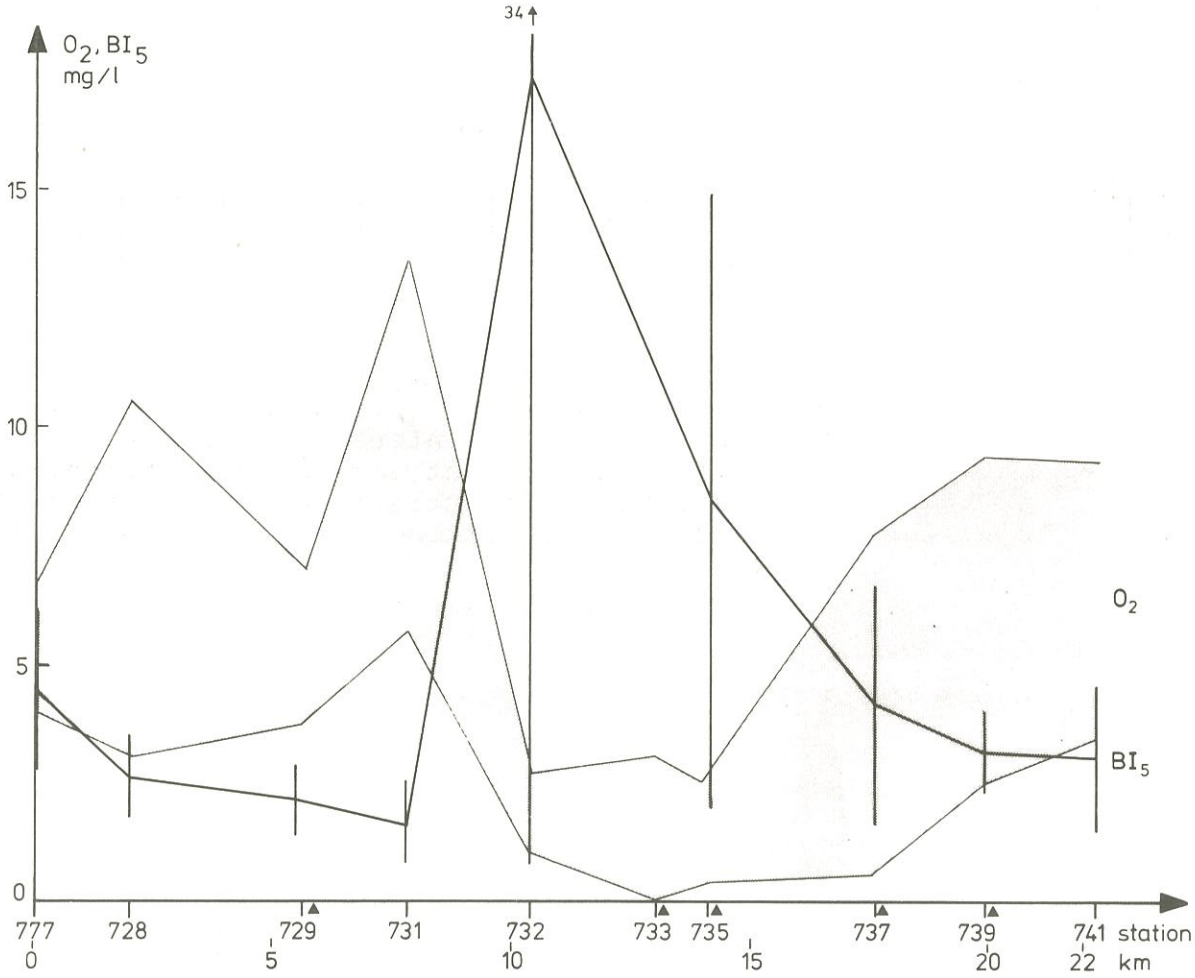
Undersøgelserne danner i øvrigt grundlag for de i afsnit 6 og 7 behandlede vandløbsmodeller.

Strækning	Maximum og minimum iltkoncentration mg/l	Variation og koncentrationsmiddelværdier ned ad åen, mg/l				
		BI_5	Total-N	NH_3-N	NO_2^--N	NO_3^--N
Gudenå						
Tørring - Bredvad mølle	4 - 11	1 - 3	1,6 - 2,3	0,2 - 0,4	<0,1	1,0 - 1,7
Vestbirk sø - Klosterkær	7 - 16	4 - 7,5	1,5 - 1,7	<0,1	<0,1	0,6 - 1,0
Resenbro - Kongensbro	5 - 10,5	6 - 7,5	1,5 - 1,9	0,1 - 1,9	<0,1	0,2 - 0,4
Tange sø - Langå	7 - 12	3 - 4	0,8 - 1,0	0,1 - 0,2	0	0,1 - 0,25
Mattrup å	6 - 14	3 - 7	1,4 - 2,2	0,1 - 0,2	<0,1	0,2 - 1,2
Hadsten lilleå	0 - 14	2 - 17	2,5 - 5,5	0,1 - 2,9	<0,2	0,2 - 3,1
Tange å	2 - 10	1,5 - 6	1,7 - 3,2	0,2 - 2,0	<0,1	0,6 - 1,3
Nørreå øvre del	3,5- 5,1	4 - 6	~ 1,5	~ 0,4	<0,2	0,1 - 0,4

Tabel 4.6 Intervaller for målte tilstandsvariabler i Gudenåsystemet i de intensive perioder. Iltkoncentration er givet som målte ekstremværdier, mens de øvrige koncentrationer er givet som intervaller for middelkoncentrationen for hver station.



Figur 4.13 Døgnvariation af opløst ilt ned ad Gudenåen, som blev målt i de intensive perioder.



Figur 4.14 Ilt- og BI_5-koncentrationer, målt i Hadsten lilleå den 29. - 30. august 1974.
BI_5-koncentrationerne er vist som middelværdier og spredninger, mens iltkoncentrationerne er vist med ekstremværdierne.

4.3.4 SAMLET VURDERING AF VANDLØBSUNDERSØGELSERNE

Forureningsgraden efter saprobiesystemet ligger i Gudenåsystemet oftest omkring grad II. Mellem 5 og 10 % af de mere betydende vandløbsstrækninger kan betegnes med en forureningsgrad lig med eller større end grad III. Kun få af de betydende strækninger er karakteriseret ved forureningsgrad IV.

På nogle strækninger i Gudenåsystemet, især efter søafløb, lader saprobiesystemet sig kun anvende med forbehold.

En påvirkning med organisk stof kan i mange tilfælde ved hjælp af saprobiesystemet henføres til bestemte kilder. Sammenholdes de fundne saprobiegrader med de intensive undersøgelsers fysisk-kemiske resultater, for eksempel BI_5-koncentration og iltsvingninger, findes ingen signifikant sammenhæng. Materialet viser så stor spredning, at en nøjere behandling ikke viser nogen entydig sammenhæng.

Floraundersøgelserne viser, at der er afhængighed mellem vandløbsplejen (oprensning m.v.) og artsdiversiteten, hvorimod der af undersøgelsesmaterialet næppe kan findes nogen kvantitativ sammenhæng mellem stofkoncentrationer og plantesammensætning.

På den foreliggende undersøgelses grundlag må det sluttes, at en entydig, kvantitativ sammenhæng mellem belastning og saprobiegrad ikke kan etableres, hvorimod en vis kvalitativ sammenhæng mellem for eksempel rigelig næringsstoftilførsel og kraftig vækst af trådalger synes at eksistere.

4.4 FISKERIBIOLOGISKE UNDERSØGELSER

4.4.1 FOREKOMST OG BESTANDTÆTHED, PRODUKTION

Forekomst og bestandtætheder af ferskvandsfisk er i forbindelse med Gudenåundersøgelsen 1973 - 75 undersøgt på 150 lokaliteter. Materialet er sammenholdt med undersøgelser udført i 1969-71 af Danmarks Fiskeri- og Havundersøgelser, således at det samlede antal undersøgte lokaliteter er 282.

Ved undersøgelserne er der fanget over 11000 fisk fordelt på følgende arter: ørred (havørred, søørred og bækørred), regnbueørred, kildeørred, stalling, gedde, skalle, elritse, grundling, brasen, karudse, smerling, ål, knude (ferskvandskvabbe), aborre, hork, trepigget hundestejle og nipigget hundestejle.

Ørred er den art, der er fundet både på flest stationer (68 % af de undersøgte stationer) og i størst antal (59,3 % af den samlede fangst). Regnbueørred, ål og trepigget hundestejle er fundet på mellem 23 % og 27 % af de undersøgte lokaliteter. Efter antal hører disse tre arter også til de almindelige. De udgjorde henholdsvis 9,3 %, 6,6 % og 12,9 % af den samlede fangst. De resterende 13 arter er kun fundet på få stationer og kun i et lille antal. Tilsammen udgør disse 13 arter kun 11,8 % af den samlede fangst, medens de fire førstnævnte arter udgør 88,2 %.

På een station er der fanget syv forskellige arter samtidig, og på enkelte stationer er der fanget seks forskellige arter samtidig. Men på omkring en trediedel af de undersøgte stationer er der kun fanget én art, og på omkring halvdelen af stationerne er der kun fanget to arter.

De stationer, hvor der er fanget flere arter samtidig, har næsten altid været af vandløbstypen "nedre bæk" eller "øvre bæk", og de stationer, hvor der er fanget en eller kun få arter samtidig, har hovedsagelig været af vandløbstypen "øvre bæk". Antallet af fiskearter i mindre vandløb må derfor karakteriseres som lavt og i de fleste tilfælde endog som meget lavt.

Gudenåen og dens sidetilløbs egnethed som ørredvand er vurderet og angivet i bilag 2.

Ved vurderingen af vandløbsstrækningernes kvalitet som fiskevand skal følgende tages i betragtning:

a) Ørred er den almindeligst forekommende fiskeart i småvandløb. Ørred er en af de økonomisk vigtige fiskearter. Ørred er meget eftertragtet i det rekreative fiskeri.

b) I "øvre bæk" og "nedre bæk" findes de vigtigste gydepladser for ørred, og disse områder fungerer desuden som opvækstvand for ungørred.

c) I "øvre å" findes også enkelte gydepladser for ørred, men denne vandløbstype har størst betydning som opvækstvand for ørred.

d) Endelig er "nedre å" nok uden betydning for ørredtillægget.

Udfra disse forhold har det i fiskeplejen været normalt at fremme ørredbestandene og dermed ørredfiskeriet både på kysten og i vandløbene, ved i videst muligt omfang at tilgodese ørredens miljøkrav i vandløbene.

Med udarbejdelsen af udsætningsplanerne for ørred (Ferskvandsbiol.Lab.) /11/,/12/, er der skabt mulighed for, at alle

egnede vandløbsstrækninger i Gudenåsystemet inddrages i ørredproduktionen, men i denne forbindelse bør flere forhold også overvejes:

1. Opfyldelsen af ørredudsætningsplanerne er økonomisk belastende, og de kræver til stadighed kunstigt opdræt af ørred til brug for udsætning.

2. Er de udsatte ørreder af samme kvalitet som de i vandsystemet naturligt producerede ørreder ?

Ad 1. I Gudenåsystemet er der store vandløbsstrækninger, der er egnede som gydepladser og opvækstvand for ørred. Flere af disse strækninger er utilgængelige for de kønsmodne havørreder, der hvert år trækker op i vandsystemet for at gyde. Såfremt der var fri adgang for havørred til disse strækninger, ville der flere steder kunne etableres selvreproducerende ørredbestande, og de nævnte udgifter ville mindskes.

Det skal i denne forbindelse nævnes, at det set fra et fiskeribiologisk synspunkt generelt er uheldigt at hindre fiskenes frie færden. For tiden er der tillige store vanskeligheder med at opdrætte sygdomsfrie ørred til udsætning.

Ad 2. I naturlige ørredbestande er der blandt de udvandrende ungørred (smolt) og blandt de opvandrende kønsmodne havørred flest hunner. Ferskvandsbiol. Laboratorium /11/, diskuterer dette forhold og fremhæver, at naturlige, selvproducerende ørredbestande, hvis frie færden mellem opvækstvand og havet ikke er hindret, sandsynligvis vil producere flere havørred end bækørred, medens kunstigt opdrættede ørred med damørredforældre overvejende vil producere bækørred.

Dette forhold er af afgørende betydning for retningslinierne i den fremtidige fiskepleje og bør derfor undersøges yderligere.

Regnbueørredens forekomst synes at følge placeringen af dambrugene i vandsystemet. Regnbueørreden kan være af betydning for det rekreative fiskeri i vandløbene, men artens biologi er lidet kendt, og yderligere undersøgelser kan anbefales.

De få vandløb, hvor elritse og smerling endnu lever, bør holdes rene og beskyttes mod yderligere påvirkninger.

Ål er en økonomisk vigtig fiskeart. Produktionen af denne art kan fremmes ved udsætninger i søerne i den øverste del af vandsystemet.

Udover undersøgelser af forekomst og bestandtætheder er vandløbsfiskenes - specielt ørredens - populationsdynamik og produktion undersøgt.

Undersøgelsen kan konkludere, at ørredynglen efter fremkomsten udviser aggressiv, territorial adfærd, der medfører, at dødeligheden i de første levemåneder er tæthedsafhængig. Den territoriale adfærd er visuelt betinget, det er derfor sandsynligt, at jo mere fysisk kompleks en vandløbsbund er, desto større er ørredbestanden. Undersøgelsen har vist, at oprensning af vandløb og grødeskæring, der nedsætter vandløbsbundens og vandløbssidernes kompleksitet, medfører øget dødelighed hos ørreder. Den tæthedsafhængige dødelighed i tiden lige efter klækningen er sandsynligvis den vigtigste bestandregulerende faktor og må derfor tillægges stor vægt ved udformning af fremtidige retningslinier for vandløbs- og fiskepleje.

Undersøgelser af fiskenes produktion viste, at denne lå mellem 5 og 33 g vådvægt/m^2/år.
Flere af de undersøgte lokaliteter havde en ørredproduktion på 15 g vådvægt/m^2/år eller højere.

4.4.2 TANGEVÆRKET OG GUDENÅENS LAKSE- OG ØRREDBESTANDE

Gudenåen er fra tidligere tid kendt som et vigtigt lakse- og ørredvandløb. Ved bygningen af dæmningen og kraftværket ved Tange i 1920 blev opgangslaksene hindret i at nå deres gydepladser, der alle lå oven for kraftværkets opstemning, og opgangsørrederne blev udelukket fra en del af deres gydepladser. Dette medførte laksebestandens udryddelse samt en kraftig nedgang i ørredfiskeriet.

Gennem udsætning af lakseyngel eller sættefisk er det flere gange forsøgt at genskabe Gudenåens laksebestand, men dette er ikke lykkedes.

På anmodning af Danmarks Sportsfiskerforbund og med billigelse af Det danske Fiskeriministerium er årsagerne til laksebestandens udryddelse undersøgt, og samtidig er der fremsat et forslag til ophjælpningsforanstaltninger. De foreslåede ophjælpningsforanstaltninger er sammenfattet i et handlingsprogram, /67/, som kun vedrører genetablering af laksebestanden, og som forudsætter en ombygning af fisketrappen ved Tangeværket. Hertil skal følgende bemærkes:

Alle laksegydepladserne i Gudenåen var beliggende mellem Resenbro og Tange samt måske i de nedre løb af Borre å og Tange å. Etableringen af Tangeværket og Tange sø i 1920 medførte en reduktion i arealet af de benyttede laksegydepladser. Således blev alle gydepladserne ved Ans og

i det nedre løb af Tange å oversvømmet af Tange sø. Siden 1920 har Gudenåen mellem Resenbro og Tange sø været udsat for en stigende belastning med organisk stof. Dette har medført en forringelse af gydepladserne på denne strækning, og det må forventes, at disse er ubrugelige i dag. Tilbage er der kun det nedre løb af Borre å, hvor der findes mindre strækninger, der formodentlig vil være egnede til lakseleg. Samlet må det konstateres, at der er sket en meget væsentlig reduktion af de tidligere gydepladser. Det samme er tilfældet med arealet af egnede opvækstområder.

For at sikre unglaksenes nedvandring er der i handlingsprogrammet foreslået en række restriktioner for erhvervsfiskeriet, især i Tange sø og Randers fjord. Restriktionerne er af et sådant omfang, at det eventuelle økonomiske tab for erhvervsfiskeriet nøje bør afvejes med en eventuel økonomisk gevinst i laksefiskeriet.

Handlingsprogrammet konkluderer, at såfremt de fremsatte ophjælpningsforanstaltninger iværksættes, vil disse - alt andet lige - højst kunne føre til genetablering af en lakseopgang af samme størrelse som før 1920.

Det må konkluderes, at selv om handlingsprogrammet gennemføres, vil det måske nok føre til genetablering af lakseopgang i Gudenåen i en kort periode, men ikke til genetablering af en selvreproducerende laksebestand, det vil sige, såfremt der hvert år fremover udsættes et større antal lakse-præsmolt i Gudenåen, så vil der højst blive mulighed for laksefiskeri i Gudenåen, og det uanset om fisketrappen ved Tangeværket bliver ombygget eller ej.

En ombygning, der bringer fisketrappen ved Tangeværket i funktionsdygtig stand, vil sandsynligvis have betydning for havørredbestanden i Gudenåen. Oven for Tangeværket findes mange vandløbsstrækninger, der er velegnede som

gydevande for havørred og opvækstvand for ungørred. Hvis disse strækninger bliver gjort tilgængelige for havørred, må det forventes, at produktionen af ørred-smolt stiger. Hvis og kun hvis ørred-smoltens nedvandring til havet samtidigt sikres, vil dette medføre, at også den samlede havørredbestand såvel som antallet af opgangsørred stiger.

For havørredbestandens vedkommende gør endnu et forhold sig gældende. En del af den årlige havørredopgang består af små havørred (havørred mindre end 40 cm), og relativt mange af disse havørred overlever den første gydning og vender tilbage til havet for på et senere tidspunkt igen at vandre op i Gudenåen for at gyde. Hvis der bliver skabt mulighed for, at havørred kan vandre op oven for Tange sø, så er det nødvendigt at sikre nedgangsforholdene gennem Tange sø og forbi Tangeværket for de omtalte små havørreder. Hvis dette ikke sker, så er det umuligt at forudsige følgerne for havørredbestanden. Men en reduktion udover bestandens nuværende niveau kan ikke udelukkes.

Undersøgelserne er afrapporteret i Gudenåundersøgelsen, Rapport nr. 18 og 19, "Fiskeriundersøgelser", /11/ og /12/.

4.5 GUDENÅOPLANDETS SØER

I forbindelse med Gudenåundersøgelsen 1973 - 75 har undersøgelser af Gudenåsystemets søer haft høj prioritet.

Disse søundersøgelser omfatter en kvalitetsbeskrivelse pr. 1974, idet søerne er vurderet på grundlag af de fysisk-kemiske og biologiske undersøgelser, der er gennemført på vand- såvel som sedimentprøver.

Botanisk Institut, Århus Universitet (BI) og Vandkvalitetsinstituttet (VKI) har gennemført søundersøgelsesprogrammet, således at

Knudsø
Ravnsø
Mossø (3 bassiner)
og Skanderborgsøerne

samt en række andre søer er undersøgt af BI, og

Almindsø
Brassø (Himmelbjergsøerne)
Hald sø
Hinge sø
Salten langsø (3 bassiner)
Silkeborg langsø (3 bassiner)
Slåen sø
Tange sø (2 bassiner)
Thorsø
Vedsø
Vessø
Viborgsøerne
og Ørn sø

er undersøgt af VKI.

Geografisk Institut, Århus Universitet (GI) har gennemført en undersøgelse af Søbygård sø med henblik på at give en fysisk beskrivelse af sedimentforholdene her, jf. afsnit 4.1.

Søernes beliggenhed fremgår af figur 4.15.

Formålet med søundersøgelserne har været

1) at statusbeskrive vandkvaliteten i en række af Gudenåsystemets søer udfra

   vandmassens kemiske sammensætning,
   planteplanktonets primærproduktion,
   sedimentkarakteristika m.m..

2) at fremskaffe materiale til brug ved opstilling af massebalancer for søerne.

Det herved fremkomne materiale kan danne grundlag for den fremtidige kontrol af vandkvaliteten i søerne og kan benyttes ved den fysiske planlægning vedrørende naturforvaltning og søernes fremtidige anvendelse, jf. afsn.9.

4.5.1 SØER - VANDKEMI

Vandets kemiske sammensætning i søerne med hensyn til organisk materiale og næringssalte er under indflydelse af

årstidsvarierende stoftilførsler

algesuccession og primærproduktionens størrelse

stratifikation

stofudveksling med sediment.

Gudenå-systemets søer.

Figur 4.15 Kort over de undersøgte søer i Gudenåsystemet.

Da opholdstiden i de fleste af systemets søer er relativ kort, afspejles årstidsvarierende stoftilførsler i koncentrationerne af organisk stof og næringsstoffer i søvandet.

Algesuccessionen, kiselalger - grønalger - blågrønalger (-kiselalger), afspejles i søvandets koncentrationer af opløst silicium, kvælstof og fosfor, idet der om foråret ved kiselalgernes opblomstring sker en hurtig reduktion af det opløste silicium i søvandet, fulgt af en nogenlunde samtidig og fortsat reduktion af opløst kvælstof og fosfor.

I vækstsæsonen udnytter phytoplanktonet således silicium, fosfor og kvælstof, og såfremt der er rigelige mængder af næringsstoffer til stede, vil lyset alene være regulerende for primærproduktionens størrelse.

I tabel 4.7 er angivet det antal målinger i vækstsæsonen, hvor der er konstateret lave koncentrationer af opløste fosfor- og kvælstofforbindelser.

Det ses, at der i de fleste af de undersøgte søer er sandsynlighed for næringsstofbegrænsning med fosfor som det oftest forekommende vækstregulerende/begrænsende næringsstof.

Hovedparten af partikulært organisk materiale i søerne er alger. Der er således i de fleste søer god korrelation mellem størrelsen af de forskellige mål for partikulært materiale: chlorofyl, partikulært kvælstof, partikulært fosfor og partikulært kulstof.

Opblandingen i adskillige af de mindre søer er god. Derimod er der for eksempel i Almind sø, Hald sø, Knudsø, Ravnsø og Slåen sø konstateret temperatur- og iltspringlag gennem perioder af flere måneders varighed.

Sønavn	P < 20 µg l^{-1} konstateret i antal uger	N < 20 µg l^{-1} konstateret i antal uger
Almind sø	12	1
Brassø	5	0
Hald sø	0	0
Hinge sø	6	2
Nørresø	0	1
Salten langsø I	6	1
" II	8	0
Silkeborg langsø I	4	1
" II	7	2
" III	3	1
Slåen sø	1	2
Søndersø	0	0
Tange sø I	3	0
" II	5	1
Thor sø	4	1
Vedsø	1	2
Vessø	8	0
Ørn sø	2	0

Tabel 4. 7 Tabellen angiver det antal målinger ud af i alt 12, hvor forhold som angivet i tabellens hoved er til stede. P betyder her opløst fosfor, og N betyder summen af opløste kvælstofsalte.

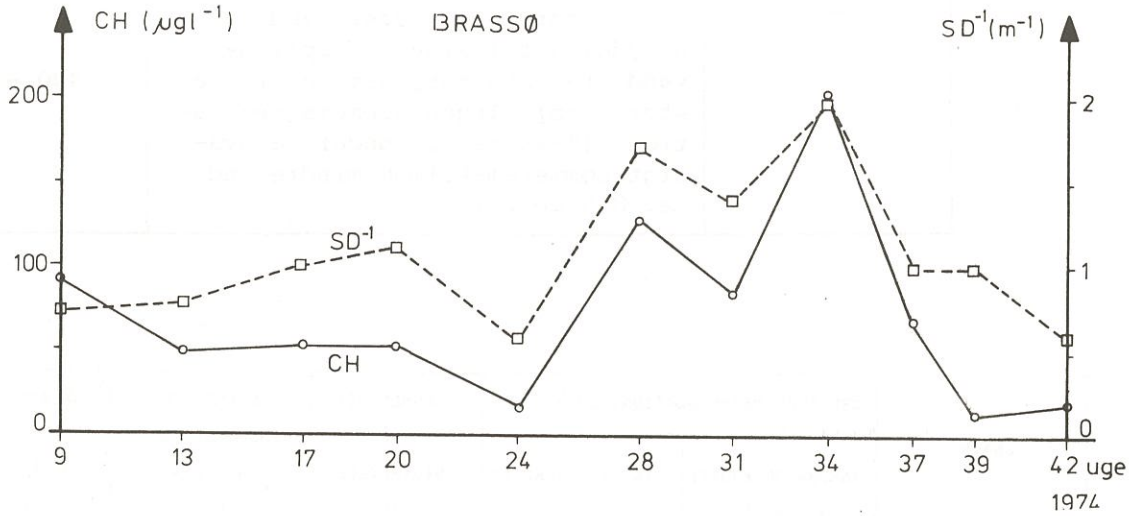
I disse søer er der således mulighed for, at der i kortere eller længere perioder kan opstå lave iltkoncentrationer under springlaget, hvorved der kan forekomme genopløsning af sedimentbundet fosfor. Dette er observeret i Hald sø, Ravnsø og Knudsø.

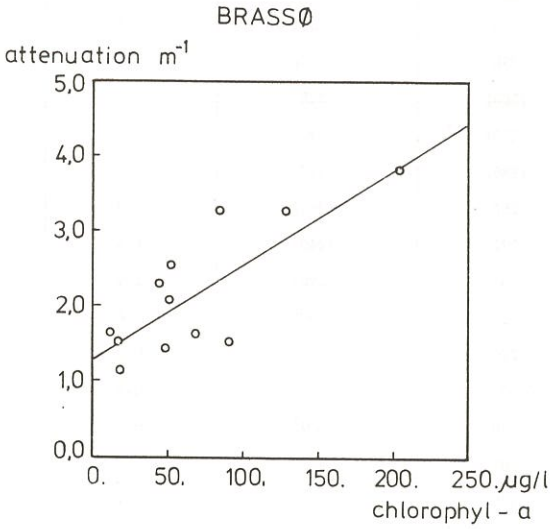
I Tange sø, bassin I, er der i en periode på 2 måneder konstateret forholdsvis lave iltværdier (ca. 50 % af mætningsværdien). Perioden er sammenfaldende med grødehøstning i Gudenåen mellem Resenbro og Tange sø, hvorfor det må antages, at dels den afhøstede grøde og dels de ved grødeslåningen frigjorte slammængder resulterer i et tydeligt iltforbrug i Tange sø.

4.5.2 SØER - PRIMÆRPRODUKTION

Der er målt primærproduktion efter henholdsvis inkubator- og in situ-metoden, /16/ og /37/, i en række af systemets søer.

I tabel 4.8 er angivet de fundne værdier og i parantes de omregnede produktionsværdier, idet der er fundet en lineær korrelation mellem inkubator- og in situ-målinger. Sigtedybden er angivet med gennemsnitsværdien for vækstsæson, og gennemsnitsindholdet af klorofyl-a er ligeledes angivet. Der er fundet en stort set lineær sammenhæng mellem den reciprokke sigtedybde (attenuation m^{-1}) og indholdet af klorofyl-a. Som eksempel anføres målingerne fra Brassø, figur 4.16. Søerne er desuden karakteriseret ved henholdsvis A, B og C svarende til den af Forurenings-rådet /15/ og senere den af Miljøstyrelsen /28/ udvidede inddeling.





Figur 4.16 Sammenhæng mellem lysdæmpning (extinction) og klorofyl-a i Brassø i 1974.

Karakteristik	Grundlag for karakteristik	Produktion in-situ-værdi g C/m^2/år
A	rene søer ringe tilførsel af spildevand	< 100 g C/m^2/år
B	forurenede søer med nogen tilførsel af spildevand	140 - 500
C	stærkt forurenede søer, med en betydelig tilførsel af spildevand (recipienter, ofte af ringe størrelse). Ingen submers vegetation. (Transparens under langvarigt sommer-maksimum mindre end ca. 0,5 meter)	400 -1200

SØNAVN	BRUTTOPRIMÆRPRODUKTION, 1974		GENNEMSNIT AF SIGTEDYBDE m	GENNEMSNITLIGT INDHOLD AF KLOROFYL-A µg l^{-1}	KLASSIFIKATION AF A, B OG C SØER
	INKUBATORVÆRDIER g C/m^2/år	IN SITU-VÆRDIER g C/m^2/år			
Almind sø	50	(70)	5,3	4,5	A
Brassø	260	(390)	1,1	70	C(B)
Hald sø	210	(300)	3,2	34	B
Hinge sø	290	(410)	0,6	114	C
Mossø I	(160)	235			B
Mossø II	(210)	298			B
Mossø III	(280)	373			B
Nørre sø	250	(360)	1,7	33	B
Salten langsø I	170	(240)	1,5	33	B
Salten langsø II	130	(190)	1,4	29	B
Silkb. langsø I	300	(430)	0,8	101	C
Silkb. langsø II	260	(400)	0,8	91	C
Silkb. langsø III	320	(460)	0,9	78	C
Slåen sø	30	(50)	6,0	3,3	A
Søndersø	300	(430)	1,1	80	C
Tange sø I	470	(670)	1,1	81	C
Tange sø II	420	(600)	0,8	87	C
Thor sø	90	(140)	1,7	15	B(A)
Vedsø	250	(360)	1,1	63	B
Vessø	160	(230)	1,6	38	B
Ørn sø	330	(470)	1,0	112	C

Tabel 4.8 Årsproduktionen i de undersøgte søer angivet ved laboratorieværdier (inkubator) og værdier svarende til benyttelsen af "in situ"-metoden. Desuden er anført den gennemsnitlige sigtedybde og det gennemsnitlige indhold af klorofyl-a. Tal i ( ) angiver "beregnet" værdi.

Kommentarer til skema:

Gruppe A forbeholdes de rene søer af "høj kvalitet". (Såfremt der ingen spildevandstilførsel finder sted, betegnes gruppen AA).

Gruppe C forbeholdes stærkt forurenede (eutrofierede) søer m.v..

Gruppe B omfatter både søer, som er forurenet i ringe grad, og søer, som er betydeligt forurenede (evt. "på vej mod gruppe C"). Kun de stærkt eutrofierede (f.eks. submers vegetation forsvundet) overføres til gruppe C.

4.5.3 SØER - SEDIMENTFORHOLD

Der er udtaget sedimentprøver fra de undersøgte søer på lokaliteter med største vanddybde. Formålet har været at etablere et referencemateriale for såvel kulturpåvirkede søer som ubelastede søer.

Beskrivelsen af de kulturpåvirkede søsedimenter viser ensartethed med hensyn til syn, lugt og visse kemiske variabler. Belastningen med for eksempel tungmetaller afspejler i visse tilfælde tydelig tilførsel af spildevand, jf. afsnit 4.7.

Ved Botanisk Instituts undersøgelser er vurderet en række analysevariablers relation til belastningsgrad og søtype. Undersøgelserne konkluderer, at følgende analysevariabler er anvendelige ved vurdering af den enkelte sø's interne tidsmæssige udvikling:

Total-P (der derimod ikke har værdi med reference til andre søer)

Natrium

Kobber

og P-fraktionering.

Ved vurdering af sedimentets P-akkumulerende kapacitet er analyse af Ca og Fe anvendelige, specielt i sammenhæng med P-fraktioneringsanalyse.

Af variabler, der er usikre eller vildledende for vurdering af eutrofieringsgraden, skal fremhæves:

Askeindhold (glødetab)

Uorganisk kulstof,

Kvælstof,

Total-svovl,

Kalium,

Calcium

og Magnesium.

I denne sammenhæng henvises til afsnit 5.6, hvor en beregnet denitrifikationseffekt for udvalgte søer er anført.

Undersøgelsen viser for søsystemet Sorte sø - Lille sø - Skanderborg sø og Mossø en aftagende effekt af spildevandstilledningen fra Skanderborg, udtrykt ved sedimentanalyser af Cu, Na samt P-fraktionering.

Det fremgår desuden, at de søer, der har den største P-bindende kapacitet, er søer i naturligt næringsrige områder med højt indhold af Ca og Fe. Det er usikkert, i hvor høj grad det i sedimentet Ca- og Fe-bundne P vil forsinke effekten af eventuelle sørestaureringsindgreb, for eksem-

pel i form af afskæring af spildevandstilledninger eller overgang til høj grad af rensning. Fosforafgivelsen fra sedimentet er vurderet ved sedimentudvekslingsforsøg i laboratoriet, som viser, at der under anaerobe (iltfrie) forhold frigøres betydelige mængder fosfor og kvælstof fra sedimentet. Under aerobe forhold bindes fosfor. Kvælstof forsvinder fra forsøgssystemet, idet der foregår en denitrifikation i systemets anaerobe del.

En vurdering af fraktionerede sedimentsøjler fra Gudenåhovedløbet - altså søer med en kort hydraulisk opholdstid - viser, at der øjensynligt er ligevægt i sedimentet. Dette antyder, at der fra fosforreserverne i sedimenterne efter et evt. restaureringsindgreb (reduktion i fosforbelastningen) kun vil afgives mindre mængder fosfor til vandfasen. Nyere undersøgelser (1976) / 2 /, synes at bekræfte dette.

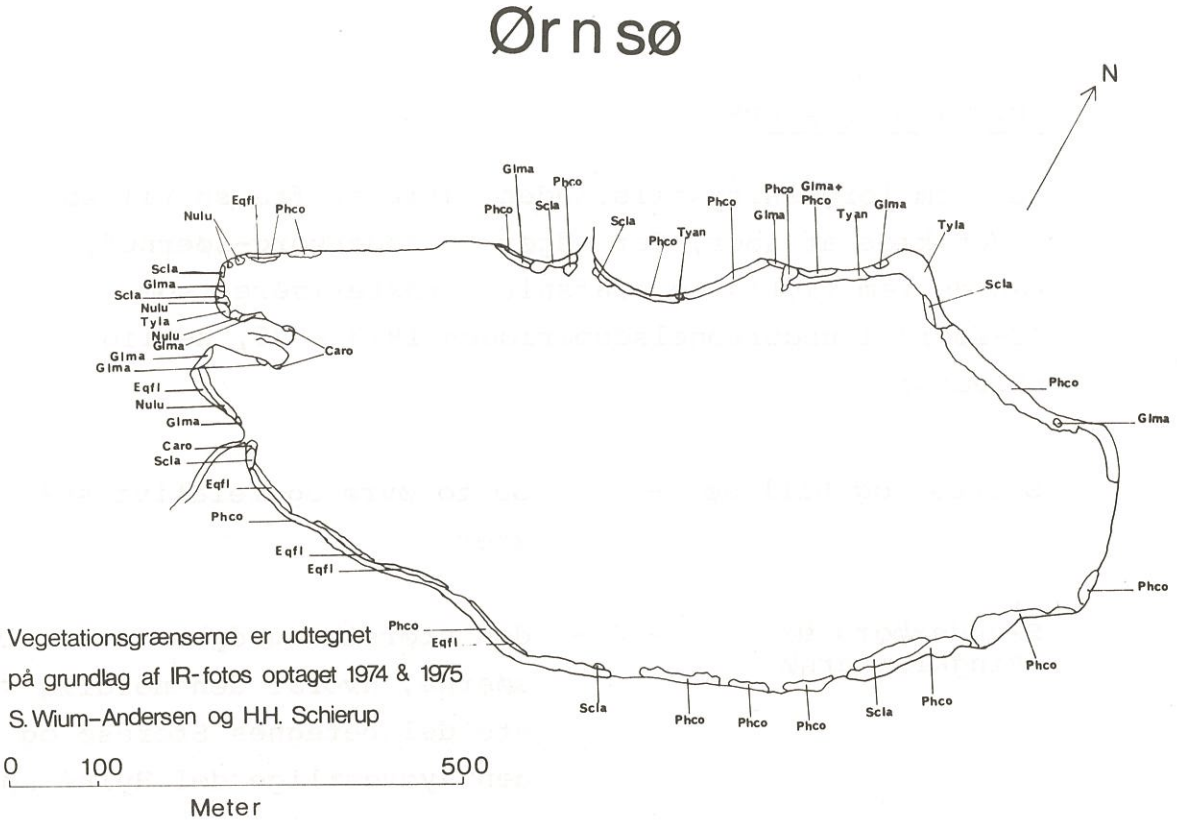
Sedimenttilvæksten er opgjort i Søbygård sø til ca. 7 mm/år, /24/, og i Tange sø til ca. 15 mm/år. For visse af de øvrige søer er sedimenttilvæksten beregnet udfra stoftransportvurderingerne og sedimenternes kemiske forhold. De beregnede sedimenttilvækster er anført i afsnit 5.6 og må kun opfattes som vejledende.

For Søbygård sø er udbredelsen af kulturslamlaget ca. 60 cm og under dette findes et gytjelag, hvis mægtighed overstiger 4 m. For Silkeborg langsø's vedkommende kan det nævnes iflg. / 2 /, at gytje-(dynd)aflejringer har en gennemsnitstykkelse på 4 m og på enkelte lokaliteter er der aflejret op til 8 m dynd i østbassinet.

4.5.4 KARTERING AF RØRSUMP- OG FLYDEBLADSVEGETATION I UDVALGTE SØER I GUDENÅSYSTEMET

Af de 10 søer, hvis vegetationskartering er omfattet af projektet, fremholdes Ørnsø , jf. figur 4.17, som eksempel på den dominerende søtype i Gudenåsystemet: Den næringsrige, kulturbelastede sø, hvis rørsumpvegetation er stærkt præget af hurtigt fremskridende opfyldning med tilført suspenderet materiale, en effekt, der specielt er iøjnefaldende i de mindre søer. Søens rørsumpvegetation er kraftigt udviklet, og arter som Tagrør og Sø-kogleaks er kvalitativt præget af rigelig tilgang af plantetilgængeligt kvælstof. Den submerse vegetation, der angives at have været et dominerende indslag i søens vegetation indtil ca. 1940, er nu praktisk taget forsvundet. Der er anledning til at formode, at rørsumpen udbredelsesmæssigt er tiltaget væsentligt i samme periode. De i projektet udtegnede kort vil kunne danne grundlag for en kvalitativ og kvantitativ registrering af eventuelle ændringer i de kommende år ved fornyede fotograferinger og kortudtegninger, foretaget for eksempel hvert 5. år.

Materialet er afrapporteret af Botanisk Institut, Århus Universitet, og Ferskvandsbiologisk Laboratorium, Københavns Universitet, 1975, /13/. Foruden de her behandlede 10 søer gennemføres der for tiden som et forskningsprojekt en kartering og registrering af ca. 20 af systemets øvrige søer.



Figur 4.17 Vegetationskartering af Ørn sø.

4.5.5 BESKRIVELSE AF SØERNE

SKANDERBORG-SØERNE

Selv om forureningstilstanden varierer fra sø til sø i den kæde af søer, der udgør "Skanderborg-søerne", kan de fem vigtigste søafsnit karakteriseres som "C-søer" i undersøgelsesperioden 1973 - 75, nemlig således:

Sortesø og Lillesø	- C -	de to øvre og relativt små søer
Skanderborg sø (Ringklostersø)	- C -	den største og dybeste af søerne, hvoraf den nordligste del betegnes Storesø og den sydvestlige del Hylke sø
Vrold sø og Tåning sø	- C -	de to nedre og mindre afsnit med afløb fra Tåning sø til Tåning å og med denne til Mossø.

En af de øvre, moseagtige småsøer, Døjsø, er endnu så ren (med afløb til Sortesø), at den kan karakteriseres som en A-sø.

Ønsket om at beskytte vandløbssystemet neden for Skanderborg by mest muligt, og særligt ønsket om at beskytte de to største søer Skanderborg sø og Mossø, er i en årrække blevet tilgodeset ved anvendelsen af Sortesø som recipient for det mekanisk rensede spildevand fra Skanderborg centralrenseanlæg. Endvidere er flere af de ældre spildevandsudledninger til den nordlige del af Skanderborg sø (Storesø) bragt til ophør, idet spildevandet nu i afskærende ledninger føres til centralrenseanlægget. Fra

et ældre og mindre biologisk anlæg udledes indtil videre spildevand til Lillesø, men altså ikke direkte til selve Skanderborg sø.

Sortesø er i 1975 - 76 så alvorligt forurenet, at afløbet fra den har karakter af mekanisk renset spildevand. Der er i søen store mængder af ustabiliseret slam hidrørende fra det mekanisk rensede spildevand, som udledes fra centralrenseanlægget.

Lillesø er i 1975 - 76 præget af en vidt fremskreden eutrofiering. Bundvegetationen har været totalt udslettet i mere end 10 år, og masseforekomster af blågrønalger har karakteriseret Lillesø i årene 1960 - 73.

Om sommeren er søvandet nu i 1975 - 76 ofte klart, men iltfrit og råddent, og der ses tillige ofte mange daphnier. Der har i flere år været tilfælde af fiskedrab, blandt andet under varmeperioder sidst på sommeren. Bundaflejringerne i Lillesø har et højt indhold af fosfor og af organisk stof, og de har en betydelig tykkelse.

Det må antages, at de seneste års yderligere forværring af Lillesø's forureningstilstand i særlig grad skyldes, at der i denne sidste periode er blevet tilført store mængder af organisk stof, foruden næringssalte, fra Sortesø med det mekanisk rensede spildevand fra centralrenseanlægget. Indtil for blot få år siden fungerede Sortesø i langt højere grad både som et sedimenteringsbassin og som en sø med en vis stofomsætning.

Skanderborg sø samt Vrold sø og Tåning sø. De omtalte udledninger af dårligt renset spildevand til Sortesø og Lillesø har naturligvis medført en stadig voksende belastning af dette øvre afsnit af søsystemet. Der er tidligere i forbindelse med afskæringen af de direkte spildevandstilledninger til Skanderborg sø opnået lokale

forbedringer, særligt i Storesø, med hensyn til søvandets gennemsigtighed, udseende og lugt samt i henseende til resultaterne af de bakteriologiske (hygiejniske) badevandsundersøgelser.

I Skanderborg sø, Vrold sø og Tåning sø forekommer endnu fastvoksende undervandsvegetation bestående af flere forskellige arter af vandplanter i de brednære områder, men ikke som større sammenhængende vegetationsområder.

Søens gennemsigtighed er ofte i lange sommerperioder mindre end 1 meter, og der synes i de senere år at være tale om et stigende fosforindhold i afløbet gennem Tåning å, altså i det åvand, som føres til Mossø. Sommerperiodens planteplankton er i alle søafsnit fra Storesø til Tåning sø karakteriseret af masseforekomster af blågrønalger.

De øvre, mindre søer er i deres nuværende stærkt forurenede tilstand, blandt andet med ophobning af store slammængder, ikke længere medvirkende til nogen væsentlig rensning af spildevandet, inden dette når Skanderborg sø (Storesø) via Dagmar bro. Selve Skanderborg sø's forureningstilstand må derfor i 1975 - 76 anses for at være truet af en væsentlig forværring. En snarlig og meget væsentlig forbedring i forholdene vedrørende spildevandstilførslen til Skanderborg-søerne kan dog forventes, idet arbejdet med ombygning og udvidelse af centralrenseanlægget for Skanderborg er indledt.

RAVNSØ OG KNUDSØ

De to ca. 30 meter dybe søer, Ravnsø og Knudsø, er - næst efter Hald sø - Gudenåsystemets dybeste søer, og de er begge i sammenligning med flertallet af Danmarks øvrige "dybere søer" endnu relativt rene.

Ravnsø må i henseende til forureningsgrad nu karakteriseres som en B-sø med gennemsigtighed omkring 2,5 meter gennem store dele af sommerperioden. Ofte er der dog observeret mere klart vand, også ved sommerundersøgelser. Blandt danske søer med maximumdybde større end 20 meter er kun yderst få, for eksempel Almindsø ved Silkeborg og Søtorup sø ved Bregentved, mindre eutrofierede gennem tilførsel af næringssalte fra omgivelserne end Ravnsø.

Undersøgelserne i 1973 - 75 har dog vist, at der både med Knudå, Hyltebæk og Javngyde bæk tilføres relativt store mængder af næringssalte til Ravnsø.

Den nuværende vandkvalitet i Ravnsø karakteriseres kemisk blandt andet ved, at der i lange perioder endnu kan registreres meget lave koncentrationer af fosfatfosfor i de øvre vandlag. Endvidere er Ravnsø karakteriseret ved, at der endnu igennem alle de undersøgte stagnationsperioder er registreret relativt lave koncentrationer af fosfat-fosfor i søens nedre vandmasser, for eksempel ca. 0,050 mg/l PO_4-P, hvor der tilsvarende i Knudsø er registreret for eksempel ca. 5 - 6 gange så høje koncentrationer.

Planteplanktonet i Ravnsø var i 1974 - 75 udviklet kvalitativt og kvantitativt som i en ren, alkalisk sø. For eksempel forekom et maximum af furealgen Ceratium hirundinella, medens blågrønalger aldrig udgjorde en væsentlig del af Ravnsø's planteplankton. Ligeledes var de hyppigst forekommende kiselalger ikke sådanne arter, som særligt er hyppige i - og som særligt karakteriserer - de mere eutrofierede søer. Den kvalitative sammensætning af planteplanktonet var således af en type, som tidligere var almindelig i flere af de større danske søer, inden disse blev kraftigt eutrofierede.

Knudsø, der igennem hele perioden 1963 - 76, kan karakteriseres som en B-sø, kunne endnu omkring 1953 - 55 henregnes blandt Danmarks mest rene og klare søer (blandt de relativt dybe). Den eutrofiering, som fandt sted i Knudsø efter 1967 med tilførsel af mekanisk-biologisk renset spildevand fra Ry rensningsanlæg, viste sig blandt andet ved, at søvandets gennemsigtighed i 1968 og de følgende år faldt til mindre end 1 meter (som gennemsnit af 2 måneders sommermaximum, hvor der tilsvarende før 1967 observeredes over 2 meter). Samtidig indtraf en markant stigning i maximum for pH i de øvre vandlag.

I 1973 - 74 afsluttede Ry kommune arbejdet med at afskære Ry rensningsanlægs udledning af spildevand til Knudsø, idet det mekanisk-biologisk rensede byspildevand nu i stedet udledes i Ry lillesø, det vil sige direkte i Gudenåens hovedløb.

Der er nu ved de fortsatte undersøgelser i 1973 - 76 observeret en væsentlig større gennemsigtighed under sommerperioder end på noget tidspunkt i Knudsø's "spildevandsperiode 1967 - 74". Således er der både i sommeren 1975 og 1976 ved flere af observationsserierne målt gennemsigtighed til værdier 2,5 - 4 meter. Og under perioder med maximum for planteplanktonet fandtes middelværdier svarende til forholdene før 1967, det vil sige ca. 2 - 2,5 meter.

Vandkvaliteten i Knudsø karakteriseres kemisk blandt andet ved, at der som i Ravnsø forekommer meget lave koncentrationer af fosfat-fosfor i søens øvre vandlag i de perioder, hvor der forekommer maximum af planteplankton.

Under sommerstagnation, der varer til begyndelsen af november, forekommer iltfrit bundvand med et særdeles stort

indhold af fosfat-fosfor. De udførte observationer synes at vise en stigning frem mod 1974 med hensyn til december-værdier for fosfat-fosfor, altså for årstiden efter totalcirkulationen af søens vandmasser. Disse koncentrationer er da ens for alle dybder i søen, og det er i hovedsagen disse koncentrationer, der udgør initialværdierne ved vækstperiodens start i det tidlige forår.

Planteplanktonet i Knudsø gennem somrene 1973 og 1974 har både kvalitativt og kvantitativt været karakteriseret af en rigelig forekomst af blågrønalger, men mange andre algegrupper har været godt repræsenteret, blandt andet også grønalger. Både sammensætningen af dette sommerplankton, og de til de forskellige årstider forekommende kiselalger, karakteriserer Knudsø som en eutrofieret, alkalisk sø, der altså på den ene side ikke er så ren som Ravnsø, men som på den anden side heller ikke fremtræder som en udpræget stærkt eutrofieret sø.

Sommerplanktonet 1975 og 1976 - altså fra tiden uden spildevandstilledning til Knudsø og med forbedret gennemsigtighed - viste ringe udvikling af blågrønalger.

RY LILLESØ OG RY MØLLESØ.

Begge søer er stærkt eutrofierede C-søer, idet denne og den følgende karakteristik er gældende for hele undersøgelsesperioden 1973 - 75. Det har således ikke været muligt at påvise nogen effekt af den direkte udledning fra Ry rensningsanlæg til Ry lillesø.

I begge søer er der en rigelig forekomst af fosfat-fosfor og af uorganiske kvælstofforbindelser til alle årstider, også under maximum for planteplankton. Der er ringe

gennemsigtighed, som ved næsten alle sommerobservationer har været under ca. 1 meter. Der forekommer ingen fastvoksende bundvegetation.

Også planteplankton, der især udgøres af blågrønalger og af visse kiselalger (forskellige fra for eksempel Ravnsø's almindeligste planktonformer af kiselalger), karakteriserer disse Gudenåsøer som stærkt eutrofierede.

HIMMELBJERG-SØERNE - BIRKSØ, JULSØ, BORRESØ OG BRASSØ

På grundlag, særligt af Hans Mathiesens undersøgelser 1961 - 63, blev alle Himmelbjerg-søerne, inklusiv Ry møllesø og Ry lillesø, i 1971 karakteriseret som B-søer (Forureningsrådets publikation nr. 12), /15/.

Bedømmes forureningstilstanden ud fra målinger af gennemsigtighed i sammenhængende sommerperioder med planktonmaxima (6 uger) og endvidere på basis af tilstedeværelse/ikke tilstedeværelse af fastvoksende bundvegetation (undervandsvegetation), må alle Himmelbjerg-søerne (inklusiv Ry møllesø og Ry lillesø) på basis af observationer udført af Botanisk Institut 1973 - 75 nu karakteriseres som C-søer.

Alle sammenhængende vegetationsflader af fastvoksende undervandsvegetation er nu elimineret, og søernes gennemsigtighed er ved sommerobservationer oftest mindre end 1 meter.

Både ved undersøgelser over midtjyske søers primærproduktion i årene 1961 - 63 og ved Gudenåundersøgelsen 1973 - 75 er der observeret en meget ensartet vandkvalitet fra Ry mølle til Naaege i Gudenåen efter Brassø. Dette gælder for eksempel gennemsigtighed, hvor der kun i visse dele af Borresø og Julsø først på sommeren kan forekomme noget større gennemsigtighed end i øvrigt på strækningen.

MOSSØ

Mossø, med en længde på 10 km og en maksimal bredde på 2 km, er den største sø i Gudenåsystemet. Dybdeforholdene er meget varierende og medvirker til en naturlig inddeling af søen i tre bassiner:

Bassin 1. Det større østlige hovedbassin med maksimaldybder på 22 m. Her findes tilløb fra blandt andet Tåning å, som afvander de stærkt eutrofierede Skanderborgsøer.

Bassin 2. Vandområdet vest for den tværgående sandbanke, som er grænsen mod det østlige bassin 1. Mod vest afgrænses dette midterste bassin ved Lindholm hoved.

Bassin 3. Vandområdet vest for Lindholm Hoved. I dette afsnit af Mossø findes indenfor en strækning af 500 m både tilløb og afløb for Gudenå.

Den teoretiske opholdstid for vandet i Mossø er beregnet for de enkelte bassiner og ikke for søen som et hele, idet Gudenåens vandmasser kun direkte berører en mindre del af søen, således at i hvert fald bassin 1 ikke er i kontakt med søens væsentligste tilløb. De beregnede opholdstider er skønnet som følger:

Bassin 1	:	ca. 800 dage
Bassin 2	:	ca. 90 dage
Bassin 3	:	ca. 2 dage

Der er ikke, bortset fra den ekstreme vejrsituation i sensommeren 1975, observeret noget egentligt temperaturspringlag trods en maksimaldybde på 22 m. Årsagen til den manglende stratifikation skyldes særligt søens orientering i øst-vest retning.

80 % af Mossø's opland er landbrugsarealer. Under stor vinter- og forårsafstrømning er kvælstofindholdet i tilløbene og i søen særligt højt. Men også under sommerforhold med ringe afstrømning og et stort forbrug af kvælstof til planteplanktonets primærproduktion er der altid over 0,2 mg NO_3-N i alle vanddybder. Silicium og fosfor er således de vigtigste produktionsregulerende faktorer. Hovedparten af Mossø's fosfortilførsel sker via Gudenå og Tåning å:

Tåning å	(1974)	-	8911 kg total-P
Gudenå	(1974)	-	25865 kg total-P
Akkumuleret	(1974)	-	5472 kg total-P

Belastningen fra de østlige tilløb, særligt Tåning å, har i særlig grad mulighed for at forårsage en relativ stor eutrofieringseffekt i Mossø. Dels foregår der således herfra en transport gennem alle søens forskellige afsnit fra øst mod vest - og dels kan der akkumuleres fosfor i sedimentet med dertil hørende større intern belastning end med de fosformængder, der tilføres via Gudenå. Kun 10 % af Gudenåens fosfortransport skønnes at blive opblandet i det midterste bassin.

Den største kilde til en eutrofiering af Mossø må antages at være en eventuel fortsat fosfortilførsel med Tåning å.

De målte primærproduktioner (g C/m^2/år) for de 3 bassiner er i 1973, 1974 og 1975 målt som følger:

	1973	1974	1975
Bassin 1	324	235	333
Bassin 2	380	298	359
Bassin 3	550	373	416

En væsentlig forbedring af vandkvaliteten i Skanderborgsøernes afløb vil kunne få en gavnlig effekt i Mossø.

BRYRUP-SØERNE

Bryrup-søerne består af Karlsø, Bryrup langsø, Kvindsø og Kulsø. Med Karlsø øverst og Kulsø nederst løber de via Lystrup å til Salten å.

Karlsø må - med visse forbehold - antages at være uden spildevandspåvirkning, og søen har i mange år været en yndet badesø. Karlsø blev i 1971 (Forureningsrådets publ. nr. 12) karakteriseret som en B-sø, hvilket i 1975 - 1976 stadig er gældende.

Der er dog ved visse lejligheder fundet maksimum af blågrønalger af få ugers varighed. Men oftest er søvandet, også om sommeren med den "normale" maksimale algebiomasse, klart.

Bryrup langsø blev i 1971 (Forureningsrådets publ. nr. 12 karakteriseret som en C-sø med visse B-sø-fællestræk. Denne karakteristik har også været gældende i 1973 - 1975 perioden. Selv om direkte spildevandstilledninger er ophørt, tilføres søen næringsstoffer fra Nimdrup bæk, som har tilløb i søens sydøstlige hjørne.

Søvandets gennemsigtighed er i sommerperioderne ofte under 1 m, og der er ikke længere større sammenhængende vegetationsflader af undervandsvegetation. I perioder med stor planktonproduktion er der målt pH-værdier på over 10. Den nuværende vandkvalitet i Bryrup langsø er karakteriseret ved høje næringssaltkoncentrationer, henholdsvis 0,2 - 4,5 mg/l for NO_3-N og 0,05 - 0,1 mg/l for PO_4-P.

Kvindsø blev i 1971 ligesom Bryrup langsø karakteriseret som en C(B)-sø. I 1975 henhørte søen utvivlsomt til en typisk C-sø. Søens gennemsigtighed var mindre end 1 m i lange sommerperioder og fastvoksende bundvegetation manglede.

Den kemiske vandkvalitet er karakteriseret ved meget høje næringsstofkoncentrationer.Fra 1973 til 1975 er der påvist en markant stigning.

Kulsø. Denne sø, som er den nederste af Bryrup-søerne, blev i 1971 (Forureningsrådets publ. nr. 12) karakteriseret som en B-sø. I 1975 blev søen bedømt til en C-sø.

Som i Kvindsø synes der i de seneste år at være tale om en yderligere forøget eutrofiering af Kulsø. Der er således observeret stigende forekomst af blågrønalgemaksima.

SØBYGÅRD SØ

Søbygård sø har fra 1971 samt i forbindelse med Gudenåundersøgelsens forundersøgelse 1972 været underkastet intensive undersøgelser af specielt næringsstofforholdene (Botanisk Institut, Århus Universitet).
Disse aktiviteter fortsatte med mindre intensitet i forbindelse med Gudenåundersøgelsen 1973 - 1975.

Der er endvidere både i forundersøgelsen og i 1973 - 1975 udført intensive undersøgelser over sedimenttransport, vandbalance samt søens morfologi og sedimentforhold m.v. (ved Laboratoriet for fysisk Geografi, Geologisk Institut, Århus Universitet).

Søbygård sø's forureningstilstand i årene 1970 - 1976 placerer søen i C-gruppen af eutrofierede søer, men det må bemærkes, at der er tale om et ekstremt højt eutrofi-niveau. Søen har i hele perioden været - og er stadigvæk - overordentligt stærkt forurenet. Søen kan uden tvivl tilligemed Skanderborgsøerne, Sortesø og Lillesø henregnes blandt Danmarks mest forurenede småsøer. Søbygård sø har i en årrække været belastet med tilførsel af dårligt renset spildevand (via Møllebæk fra Hammel by). Der er først i foråret 1976 etableret en effektiv biologisk rensning af det via Møllebæk udledte byspildevand.

Søbygård sø's eutrofi-niveau kan karakteriseres som "den rådne sø" (jf. Lillesø ved Skanderborg). Søvandet kan tilsyneladende være relativt klart - således i sommerperioder tilsyneladende uden eller kun med få planktonalger (da oftest flagellater, evt. grønalger). Men til gengæld forekommer da oftest store mængder af daphnier, som udøver en overordentlig stor græsningseffekt.

Iltforholdene er oftest ekstremt dårlige, og tilfælde af fiskedrab er forekommet, ligesom "bundvendinger" er et tilbagevendende fænomen.

Giftvirkninger ved frigivelse af svovlbrinte fra bunden må antages at kunne forekomme, og der er således ved flere lejligheder, senest i sommeren 1976, observeret forekomst af døde daphnier.

4.6 KVIKSØLV OG ANDRE METALLER I SØ- OG VANDLØBSSEDIMENTER. KVIKSØLV I FISK SAMT FOREKOMSTER AF DDT OG PCB I FISK

4.6.1 KVIKSØLV OG ANDRE METALLER I SØ- OG VANDLØBSSEDIMENTER

I forbindelse med gennemførelsen af Gudenåundersøgelsen er der gennemført en kviksølvundersøgelse af sediment og fisk. Herudover er der udført supplerende analyser på sedimentprøver for chrom, kobber og nikkel.

Botanisk Institut, Isotopcentralen og Vandkvalitetsinstituttet har medvirket ved denne undersøgelse.

Sedimentundersøgelsens formål var at belyse, om sedimentet på udvalgte lokaliteter nedstrøms nuværende og tidligere spildevandsudløb er belastet med kviksølv, chrom, kobber og nikkel.

Fiskeundersøgelsens formål var dels at belyse den nuværende kviksølvbelastning af fisk på lokaliteter, hvor der tidligere var konstateret forhøjede kviksølvkoncentrationer, og dels at belyse eventuelle indtrufne ændringer i kviksølvbelastningen af fiskene.

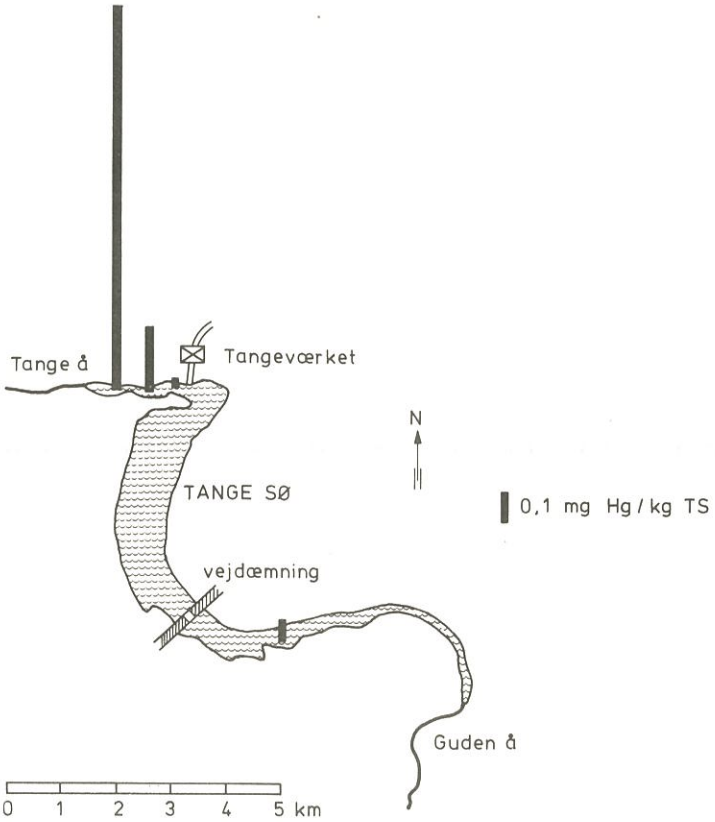
Sedimentundersøgelser for kviksølv er i Gudenåsystemet udført på lokaliteter mellem Vilholt og Klostermølle samt Mossø, i Ørn sø, Silkeborg langsø og Remstrup å og i Tange sø og Tange å samt i Søndermølle å og Nørre å. Sedimentundersøgelser for øvrige metaller er udført på lokaliteter i Brassø, Remstrup å, Ørn sø og Silkeborg langsø samt i de af Botanisk Institut undersøgte søer (kobber).

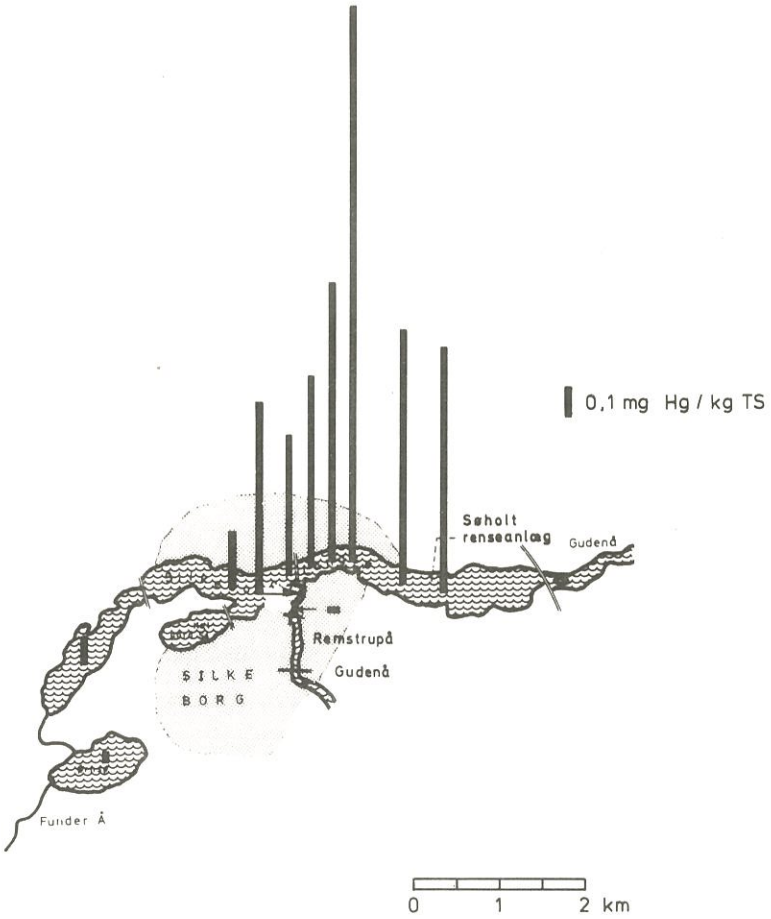
Valget af undersøgelseslokaliteter er for IC's og VKI's vedkommende sket på grundlag af lokaliteternes nuværende eller tidligere anvendelse som recipienter for spildevand fra hospitaler og papir- og papfabrikker, hvor der kan forekomme kviksølv eller kviksølvforbindelser i afløbsvandet. Analyserne på sedimentkerner fra Silkeborg langsø for chrom, kobber og nikkel er udført som et supplement til Gudenåundersøgelsen på baggrund af den konstaterede belastning med chrom og nikkel fra Søholt rensningsanlæg samt kendskab til den ved papirfabrikundersøgelsen målte forhøjede kobber- og chromkoncentration i bundfældeligt stof.

Tabel 4.9 viser en inddeling af de undersøgte lokaliteter i området i kategorierne, "ubelastede", svagt belastede og belastede med de undersøgte metaller. Variationsbredden for metalkoncentrationerne ved forskellig belastning er gengivet både på basis af tørstof og glødetab i sedimentprøverne, idet sedimentets metalbindende evne stiger med et voksende indhold af organisk materiale (glødetab). Ved inddeling efter ydergrupperne "ubelastet" og belastet ligger sedimentkoncentrationerne inden for de angivne områder, både på tørstof- og glødetabsbasis, medens mellemgruppen - svagt belastet - eventuelt kun er klassificeret efter koncentrationer på tørstof- eller glødetabsbasis.

Der er både i Silkeborg langsø og i Tange sø en tendens mod lavere koncentrationer af kviksølv i de øvre dele af sedimentet i forhold til de nedre dele (dybere end 30 cm), svarende til at kviksølvbelastningen i de senere år er blevet reduceret.

Figur 4.18 viser den horisontale variation af kviksølv i de øverste sedimentlag i Tange sø og Silkeborg langsø.





Figur 4.18 Målte kviksølvkoncentrationer i de øverste sedimentlag i Tange sø og Silkeborg langsø.

OMRÅDEKARAKTERISERING	"NORMALKONCENTRATIONER"		OMRÅDEINDDELING - SÆRLIGE KILDER *
	mg/kg TS	mg/kg GT	
"Ubelastet" med kviksølv	0,002 - 0,1	0,1 - 1,0	Gudenå-Vilholt, Mossø, Ørn sø, Silkeborg langsø I, Silkeborg langsø II (vest), Tange sø I (syd), Tange å før Kjellerup.
Svagt belastet med kviksølv	0,1 - 0,15	> 1,0	Gudenå-Vilholt, Mossø, Søndermølle å, Nørre å.
Belastet med kviksølv	> 0,15 max målt: 3,8	> 1,0 max målt: 11,8	Remstrup å, Silkeborg langsø II (øst), Silkeborg langsø III, Tange å efter Kjellerup, Tange sø II (nord) *: Silkeborg Papirfabrik (udledning ophørt 1970), Silkeborg by (sygehus). Kjellerup sygehus.
"Ubelastet" med kobber	~ 20	50 - 100	Slåen sø, Knud sø, Brassø.
Svagt belastet med kobber	30 - 50		Silkeborg langsø I, Silkeborg langsø II (vest).
Belastet med kobber	> 50 max målt: 192	> 100 max målt: 370	Skanderborgsøerne, Ørn sø, Silkeborg langsø II (øst), Silkeborg langsø III *: Skanderborg by, Silkeborg by (Pøtsø, Søholt) eventuelt Silkeborg Papirfabrik.
"Ubelastet" med chrom	< 10	< 40	Brassø
Svagt belastet med chrom	10 - 20	40 - 90	Ørn sø, Silkeborg langsø I
Belastet med chrom	> 20 max målt: 48	> 90	Silkeborg langsø II, Silkeborg langsø III. *: Silkeborg by (Søholt).
"Ubelastet" med nikkel	< 20	< 70	Brassø
Belastet med nikkel	> 20 max målt: 26	> 70	Silkeborg langsø III. *: Silkeborg by.

Tabel 4. 9 Inddeling af de undersøgte områder efter belastning med kviksølv, kobber, chrom og nikkel.

*) Angående kilder henvises til afsnittene: 5.2.1, 5.2.2 og 5.2.3.

4.6.2 KVIKSØLV I FISK

Resultaterne af kviksølvundersøgelserne på fisk viser, at der siden 1968 er sket en markant formindskelse af kviksølvbelastningen af gedder og aborrer i Silkeborg langsø og af aborrer i Tange sø. Der blev i intet tilfælde fundet kviksølvindhold større end 1000 ng/g på de nævnte lokaliteter. Akkumuleringstilvæksten af kviksølv i gedder og aborrer udtrykt som ng Hg/g fiskemuskel pr. kg vægtforøgelse er formindsket ca. 6 gange siden 1968 i

Silkeborg langsø. I Silkeborg langsø og Tange sø måltes de højeste kviksølvindhold i gedder, henholdsvis 736 ng/g muskel og 609 ng/g muskel i gedder på 7 og 9 år. I Tange å måltes det største kviksølvindhold til 423 ng/g muskel i en gedde på 5 år.

I Gudenåen ved Frisenvold konstateredes en kviksølvakkumuleringstilvækst i gedder, der var 13 gange større end akkumuleringstilvæksten i gedder fra ubelastede danske søer i 1973. Det størst målte kviksølvindhold var 523 ng/g muskel i en gedde på 7 år.

En hygiejnisk vurdering kan foretages på grundlag af kriterierne for forekomst af kviksølv i fødevarer. I Sverige anvendes 1000 ng/g som kritiske værdier og VWO/FAO og FDA har som vejledende grænseværdi foreslået 500 ng/g.

Der er overvejende fundet kviksølvkoncentrationer, som tilfredsstiller WHO/FDA's vejledende grænseværdier, men det må understreges, at selv om kviksølvbelastningen af sediment og fisk i Gudenåsystemet synes aftagende, er der stadig grund til at følge belastningssituationen. Dette bør også ske for de øvrige tungmetaller, bly, kobber, krom og nikkels vedkommende. Dette kan for eksempel gøres ved at gentage undersøgelserne med 3 - 5 års mellemrum.

4.6.3 FOREKOMST AF DDT OG PCB I FISK

I forbindelse med undersøgelsen af kviksølvindholdet i fisk er der af Hygiejnisk Institut, Århus Universitet, foretaget en parallelundersøgelse af forekomsten af DDT og PCB (polychlorerede biphenyler).

Formålet var at vurdere Gudenåsystemets belastning med vanskeligt nedbrydelige organiske chlorforbindelser på grundlag af deres forekomst i fisk.

Som indikatororganisme udvalgtes en rovfisk, gedde, da denne "befinder sig højt oppe i fødekæden" og derfor må forventes at indeholde de største koncentrationer af de chlorerede forbindelser som følge af den formodede voksende koncentration op igennem de trofiske niveauer.

Valget af prøvetagningslokaliteter har været bestemt af den antagelse, at Gudenåoplandet efter Silkeborg måtte være den hårdest belastede del af systemet.

Der er undersøgt gedder fra følgende områder:

Silkeborg langsø

Tange sø

Tange å

Gudenå ved Frisenvold.

Gennemsnittet af koncentrationerne af DDT samt PCB for samtlige gedder ved hver lokalitet er gengivet på figur 4. 19. Enheden i søjlediagrammet er for DDT 1 mm ~ 2 ppb og for PCB 1 mm ~ 40 (ppb ~ µg/l).

Vurdering af belastningen i Gudenåen viser, at såvel DDT som PCB er jævnt fordelt over Gudenåsystemet.

Figur 4.19 Gennemsnitskoncentrationen af DDT og PCB i gedder på 4 undersøgte lokaliteter.

En hygiejnisk vurdering kan foretages på grundlag af kriterierne for forekomst af DDT i fødevarer. Afhængigt af hvilke lande man betragter anvendes kritiske værdier for DDT-forekomst fra 1000 - 7000 ppb som grænse for tilladelig forekomst af DDT. Idet gedde må formodes at have en af de højeste koncentrationer blandt arterne i systemet kan det konkluderes, at fiskeri i Gudenåen ikke er kritisk på grundlag af Gudenåens belastning med chlorerede forbindelser, idet PCB må anses for væsentligt mindre toxisk end DDT.

Undersøgelserne vedrørende kviksølv og andre metaller samt PCB og DDT er afrapporteret i Gudenåundersøgelsen, Rapport nr. 4, "Hospitalsspildevand", 1975, /45/, Rapport nr. 5, "Spildevand fra papir- og papfabrikker", 1975, /46/, Rapport nr. 7, "Spildevandsundersøgelser", 1975, /48/, Rapport nr. 14, "Søundersøgelser", 1976, /55/ samt Gudenåundersøgelsen, "Kviksølv i sediment og fisk", 1976, /2/ og Gudenåundersøgelsen, "Forekomst af DDT og PCB", 1976, /18/ samt Gudenåundersøgelsen, "Sedimentkarakteristik", 1975, /3/.

Tange å. Fisk fra Tange å er bl.a. blevet undersøgt for kviksølv, DDT og PCB.

4.7 GUDENÅSYSTEMET - HYGIEJNISK VURDERING

I forbindelse med undersøgelserne ved Gudenåsystemest hovedstationer er der af Hygiejnisk Institut, Århus Universitet, gennemført hygiejniske undersøgelser, omfattende E.coli, Salmonella og Ps. aeruginosa samt Cl. perfringens.

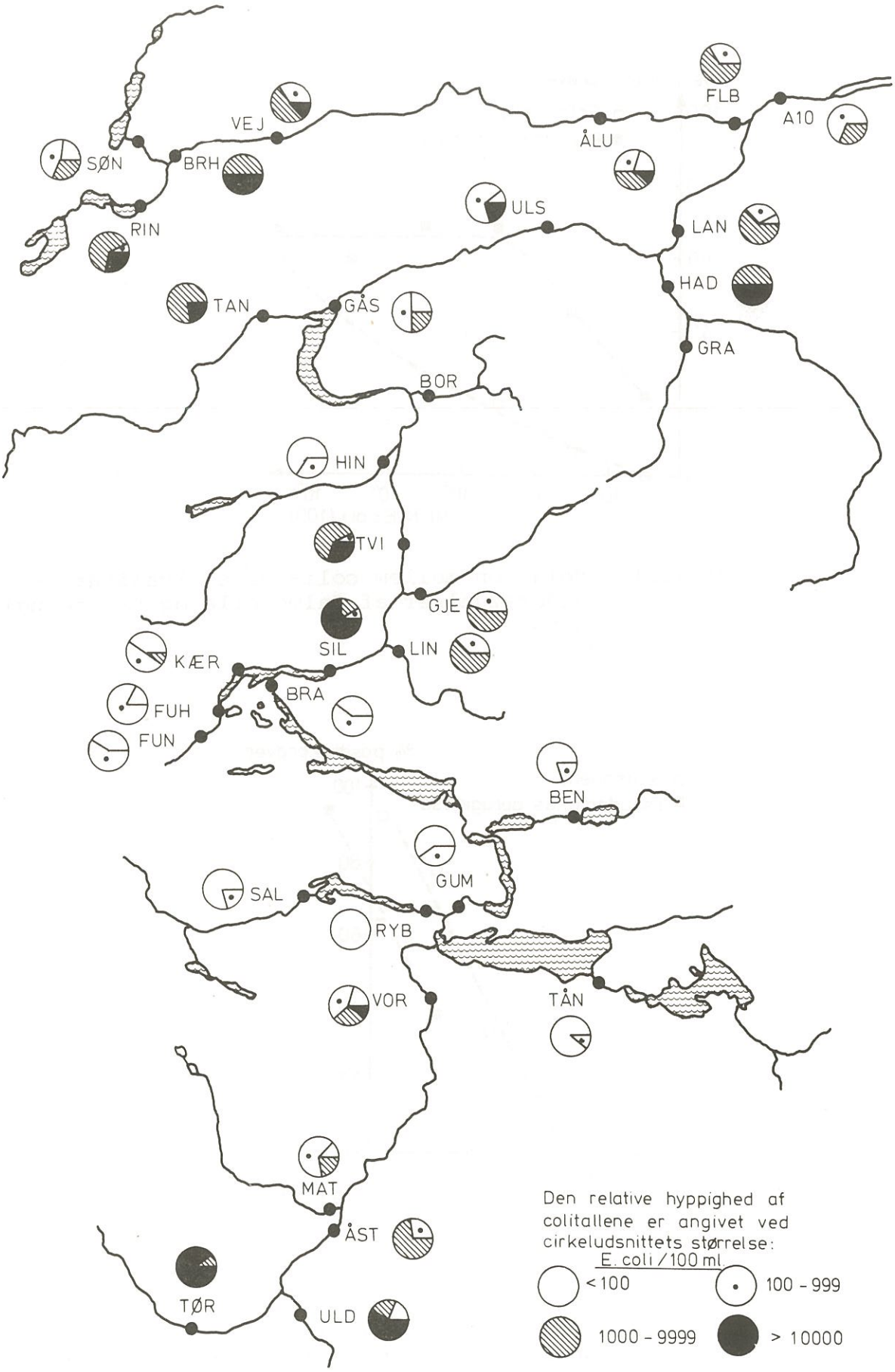
Fra Gudenåsystemet er der udtaget 366 vandprøver til undersøgelse for E.coli og 95 bundprøver fortrinsvis til bestemmelse af Cl. perfringens, samt undersøgt 570 tamponprøver for Salmonella og Ps. aeruginosa og foretaget 20 døgnsummationsundersøgelser. Sidstnævnte for at fastlægge en relation mellem Salmonella- og Ps. aeruginosa-koncentrationerne og de kvalitative fund af de samme bakterier bestemt med tamponmetoden.

I figur 4.20 afbildes den relative hyppighed af colitallene således, at man direkte kan få et indtryk af forureningsgraden på de enkelte stationer.

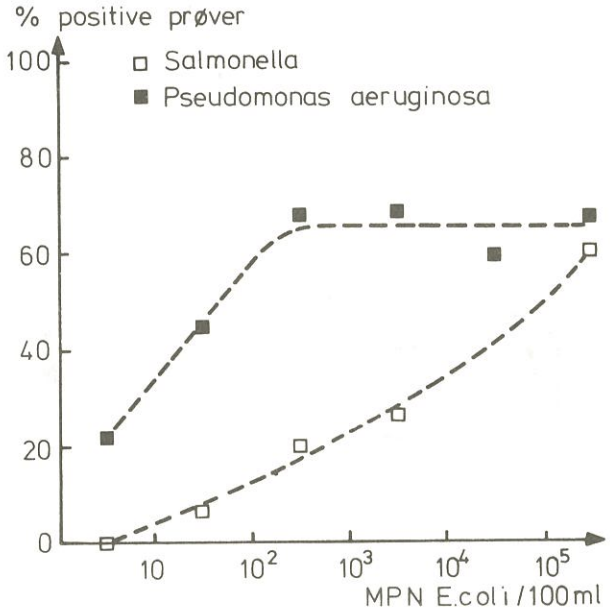
I figur 4.21 vises relationen mellem colitallene og de kvalitative undersøgelser for Salmonella og Ps. aeruginosa for hele Gudenåsystemet under eet. Relationen mellem colitallene og Salmonella er nærmest retlinet, mens isolationsfrekvensen for Ps. aeruginosa nærmest bliver konstant ca. 60 % ved colital større end 100 pr. 100 ml.

I figur 4.22 vises relationen mellem kvantitative og kvalitative undersøgelser for Salmonalle og Ps. aeruginosa udført ved hovedstationerne VOR, SIL og LAN. Da denne relation er retlinet, kan man med simple og ikke særlig tidskrævende tamponundersøgelser få et skøn over forekomsten af Salmonella og Ps. aeruginosa samtidig.

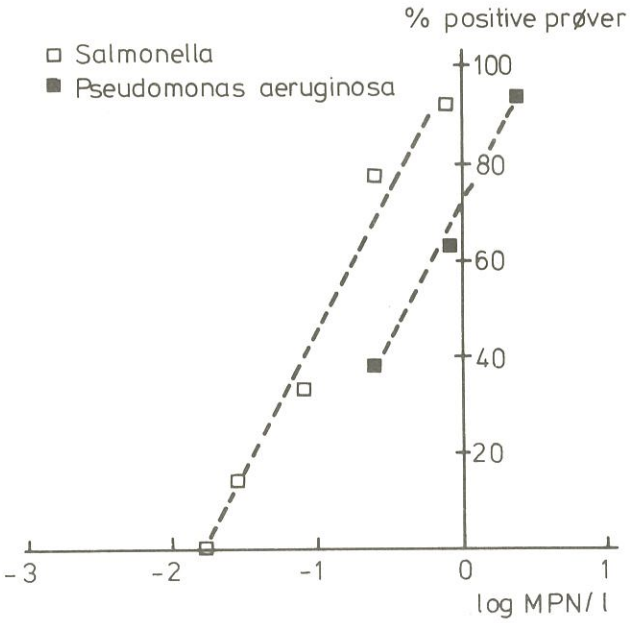
Undersøgelserne af bundprøverne viste, at E. coli, Salmonella og Ps. aeruginosa elimineres hurtigt i fersk-



Figur 4.20 Relativ hyppighed af E. coli på undersøgte lokaliteter.



Figur 4.21 Relation mellem coli-tal og kvalitative undersøgelser af Salmonella og Ps. aeruginosa.



Figur 4.22 Relation mellem kvantitative og kvalitative undersøgelser af Salmonella og Ps. aeruginosa.

vandssedimenter, i modsætning til Cl. perfringens. Gudenåen kan opdeles i to afsnit, et afsnit med og et afsnit uden indskudte søer. Det første gælder den egentlige Gudenå indtil efter Tange sø og det første stykke af Nørreåsystemet, hvor forøgelsen af strømningstværsnittet ved passage gennem søerne giver gode muligheder for sedimentation. I sedimenterne elimineres de sygdomsfremkaldende bakterier som Salmonella og Ps. aeruginosa samt E. coli hurtigt.

I det andet afsnit af Gudenåen, hvor der ikke findes indskudte søer, er mulighederne for sedimentation mindre, det vil sige, at eliminationen af bakterier bliver langsommere og åen mere følsom for spildevandsudledning.

Hygiejniske undersøgelser i deciderede badevandsområder, for eksempel Almind sø, Hinge sø, Knud sø m.fl., som gennemførtes af de kommunale myndigheder, viste at der var gode hygiejniske forhold på disse lokaliteter i undersøgelsesperioden.

De hygiejniske undersøgelser er afrapporteret i Hygiejnisk vurdering af Gudenåen, Hygiejnisk Institut, 1975 /19/.

De hygiejniske oplysninger vedrørende badelokaliteterne er meddelt af respektive amtskommuner og kredslægerne.

4.8 DAMBRUGSUNDERSØGELSEN

Dambrugsundersøgelsen har omfattet undersøgelser af stoftransporter på en række udvalgte vandløbsstrækninger, der er beliggende neden for dambrug ved Mattrup å, Salten å, Funder å, Linå, Hagenstrup møllebæk samt Bjergskov bæk.

Til belysning af recipientens reaktion på de tilførte stofmængder er der på en undersøgelsesstrækning neden for Bregnholm mølle dambrug ved Mattrup å udført detailundersøgelser af følgende problemer:

1. Effekt af udledning af iltforbrugende stoffer.

2. Effekt af slamakkumulering (sedimentberigelse).

3. Effekt af tilførsel af næringsstoffer.

4. Transportveje gennem det betragtede økosystem (for eksempel den betragtede vandløbsstrækning) for ilt, næringsstoffer og organisk stof.

I undersøgelsen indgår tillige undersøgelser af dambrugets indflydelse på populationen af vildtlevende ørred *) (Salmo trutta) og regnbueørred (Salmo gairdneri). Der er udført undersøgelser af produktion, reproduktionssucces, fødeconsumption, bestandtætheder over en 2000 m strækning på årsbasis. Der er udført fiskeribiologiske referenceundersøgelser på en ikke dambrugspåvirket strækning i Mattrup å ved Tirsvad bro.

*) Vildtlevende ørred eller blot ørred dækker bækørred og havørred. Regnbueørred, der er indført fra USA, er ikke en normalt vildtlevende fisk i danske vande.

Gennem ca. 100 stationsdøgnmålinger er påvist en forøgelse af recipientens transport af stoffraktionerne, ammoniak, total organisk kvælstof, total fosfor, orthofosfat, COD og BI_5, ved passage gennem dambruget. Der er fundet en lineær sammenhæng mellem tilført fodermængde og det umiddelbare fodertab.

Transporten af ammoniak, total organisk kvælstof, total fosfor og orthofosfat på målestationerne umiddelbart neden for Bregnholm mølle og 750 m neden for Bregnholm mølle er omtrent lige store.

For COD er forholdet det, at der i sommermånederne er større transport på den øverste station end på den nederste station. I vinter- og forårsmånederne er forholdet det modsatte. Dette betyder stofakkumulering og stofomsætning på strækningen i sommermånederne, medens der i vintermånederne sker en udskylning.

Til beskrivelse af det tidsmæssige forløb af fodertabets udskylning i recipienten er der udviklet en matematisk model. En afprøvning af modellen på samtlige COD-målinger fra Bregnholm mølle 1975 viser, at modellen giver en udmærket beskrivelse af udskylningsforløbet. Uden at skulle iværksætte en større analyseserie er man således i stand til at opnå en anvendelig beskrivelse af recipientens belastning.

Sedimentundersøgelser viser, at sedimentet i løbet af sommerperioden beriges med organisk stof. I løbet af vinter og forår udskylles det aflejrede organiske stof som følge af øget vandføring og strømhastighed. Glødetabet i sedimentet stiger fra 40 mg/g til 150 mg/g fra forår til sommer, hvorefter det igen falder. Et udtryk for den iltkrævende mikrobielle aktivitet i sedimentet opnås gennem måling af sedimentets iltforbrug.

Der er på sediment af ren mineralsand målt respirationer på 0,05 g $O_2/m^2/h$, medens værdien for organisk beriget sediment er ca. 10 gange så stor, begge værdier angivet ved en iltkoncentration på 10 ppm i vandfasen over sedimentet. Sedimentets respiration er en betydningsfuld parameter i forbindelse med vurdering af iltforhold i vandløb nedenfor dambrug.

Et udtryk for iltforholdene ned gennem sedimentet kan fås gennem måling af redoxpotentiale (E_h). Målinger viser, at overfladelaget (1 - 3 cm) er aerobt (indeholder fri ilt), medens der i dybden af organisk beriget sediment er anaerobe (iltfrie) forhold. Analyser af porevand fra sediment viser høje koncentrationer af ammoniak og orthofosfat (henholdsvis 32 mg/l og 4 mg/l) i dybder, hvor forholdene er anaerobe. Frigivelse af disse meget store mængder af næringsstoffer til vandfasen forhindres af den aerobe overfladezone.

Tilslamningen af sedimentet bevirker en opblomstring af depositfeeders, medens den rheophile stenfauna reduceres betydeligt.

Fiskeribiologiske undersøgelser er foretaget på to vandløbsstrækninger i Mattrup å, en 100 m strækning neden for Tirsvad bro samt en 250 m strækning neden for Bregnholm mølle. På begge lokaliteter er der bestemt biomasse og produktion af ørred og regnbueørred. Produktionen af ørred på de to lokaliteter var den samme, nemlig henholdsvis 7,6 g og 9,3 g vådvægt/m^2/år. Regnbueørred forekommer ikke ved Tirsvad bro, men er talrig neden for Bregnholm mølle, hvor produktionen gennem mærkninger af enkeltfisk blev bestemt til 33 g vådvægt/m^2/år. Der er ikke tidligere publiceret resultater af produktionsbestemmelser på en regnbueørredbestand i frivand i Europa, hvorfor der ikke kan foretages sammenligninger.

Ved Bregnholm mølle er produktionen af ørred ca. 6 gange så stor som ved Tirsvad bro. Yngeltillægget er tilsyneladende udmærket ved Tirsvad bro. Den fundne produktion på dette sted må da antages at være identisk med stedets produktionskapacitet. Den større samlede produktion ved Bregnholm mølle må tilskrives bedre ernæringsbetingelser. At produktionen af ørred ikke er større end ved Tirsvad bro kan der ikke gives nogen sikker forklaring på. Der er ikke fundet noget yngeltillæg ved Bregnholm mølle, og bestanden er derfor afhængig af tilvandring af fisk fra Gudenåen. Produktionsforøgelsen skyldes derfor alene, at de fra dambruget udslupne regnbueørreder vokser. Denne bestand er ikke selvreproducerende, men holdes ved lige gennem spild af fisk fra dambruget.

Ved månedlige befiskninger på strækningen fra Bregnholm mølle til Lille bro (2000 m) blev det påvist, at ørredbestanden er overordentlig ringe i sommermånederne. Denne bestandnedgang er sammenfaldende med tilgroning af grøde og forekomst af lave iltværdier. Dette betyder, at fiskebestanden umiddelbart neden for Bregnholm mølle om sommeren er indespærret mellem dambruget og den miljømæssigt dårlige strækning længere nede ad åen. Ved vækstenergetiske beregninger er det vist, at fødeoptagelsen er ca. 25 % af den maximalt mulige. Det må derfor anses for sandsynligt, at bestandtætheden overstiger strækningens kapacitet.

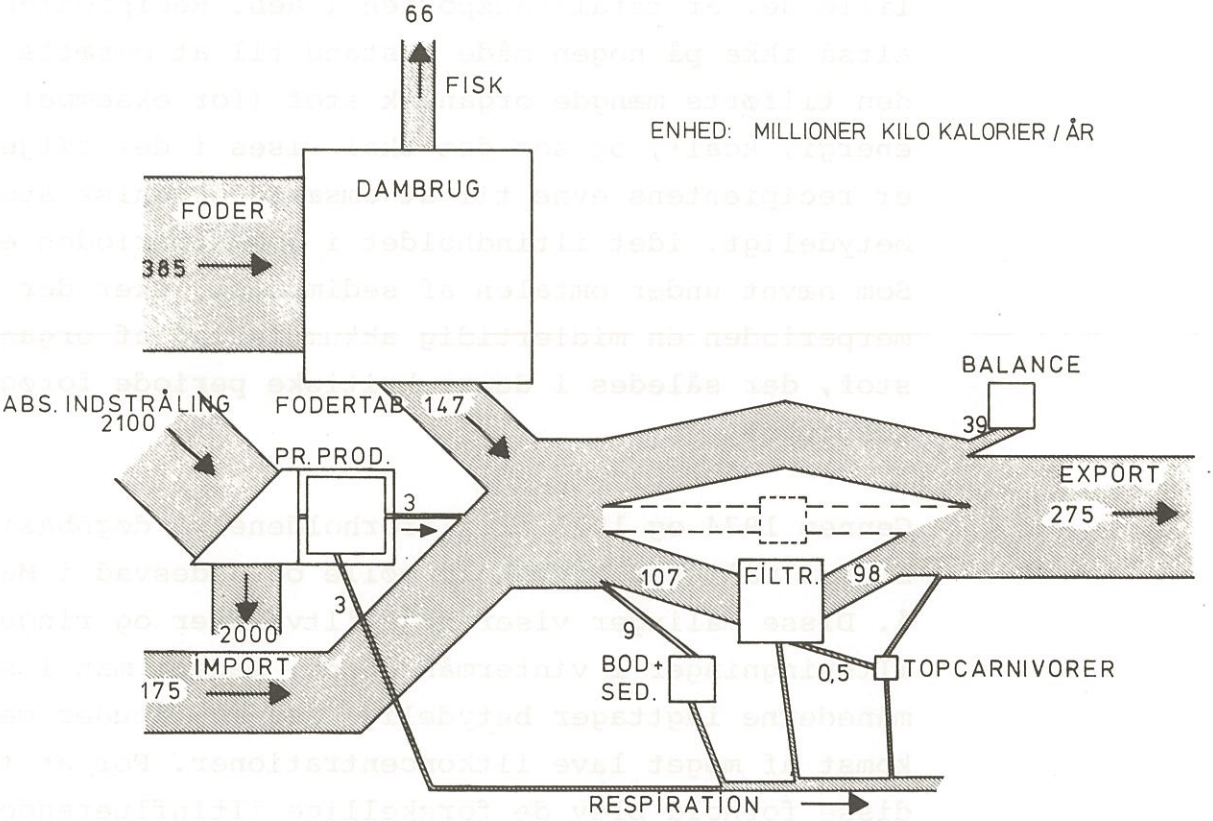
Ørreds reproduktionsmuligheder ved Bregnholm mølle og Tirsvad bro, hvor der begge steder tilsyneladende findes mange velegnede gydepladser, er undersøgt. I november 1974 iagttoges gydning og i bundprøver fra gydepladserne forekom begge steder rigelige mængder af æg. I det tidlige forår undersøgtes gydebankerne igen, hvorved der konstateredes levende embryoner ved Tirsvad

bro, medens samtlige æg var døde ved Bregnholm mølle. Senere på sæsonen indgik ørredyngel i stor mængde ved befiskninger ved Tirsvad bro, medens der overhovedet ikke iagttoges yngel ved Bregnholm mølle. I vinterens løb konstateredes en tilslamning af gydebankerne ved Bregnholm mølle, som altså totalt har umuliggjort en naturlig reproduktion af ørred på lokaliteten.

På figur 4.23 er de vigtigste energistrømme i kcal pr. år for strækningen Bregnholm mølle - Madesvad vist. Desuden er vist fodertilførslen til dambruget samt den energimængde, som fjernes fra dette i form af fiskekød. Af figuren fremgår, at dambrugets bidrag betyder en forøgelse af recipientens transport af energi på ca. 100 %. Da dette stofspild er meget protein- og fedtholdigt, har det en særdeles høj næringsværdi, hvorfor det er letomsætteligt i recipienten. Stoffet forbruges af mikroorganismer i såvel sediment- som vandfasen, hvilket kommer til udtryk i sedimentrespirationen og iltforbrug i vandet, BI_5. Imidlertid ses af figuren, at denne omsætning kun repræsenterer en ringe del af den transporterede energimængde. Derimod konsumerer simuliepopulationen en betydelig del deraf, men som følge af lav assimilationseffektivitet (10 %) udskilles 90 % igen som fækalier.

Foderforbruget fra depositfeeders kendes ikke, men må være betydningsfuldt. Transporten ud af systemet kan der ikke redegøres for som tilførsel minus forbrug. Der bliver en balance på ca. $39 \cdot 10^6$ kcal/år (7 tons organisk stof). Dette kan have sin forklaring i, at en del energi fjernes fra systemet på en måde, som ikke måles gennem de nævnte analyser.

Ørredfiskene prædaterer (lever ved rov) på simulier (ca. 30 - 50 % af fødeindtaget) og resten af deres diæt udgøres af andre vandløbsorganismer. Den energimængde, som



Figur 4.23 Energibalance for en strækning af Mattrup å (fra Bregnholm mølle dambrug til Madesvad, 750 m).

ABS. INDSTRÅLING	=	absorberet solindstråling
PR. PROD.	=	planternes primærproduktion
BOD + SED.	=	iltforbrug fra BI_5-nedbrydning i vandet og fra sedimentets respiration
FILTR.	=	filtratorer (simulier)
TOPCARNIVORER	=	ørreder + regnbueørreder
IMPORT	=	tilførsel opstrøms fra dambruget
EXPORT	=	transport ved Madesvad
"DEN STIPLEDE KASSE I FIGUREN"	=	"ikke målte processer"

ørredfiskene konsumerer ses at repræsentere en meget lille del af totaltransporten i åen. Recipienten er altså ikke på nogen måde i stand til at omsætte den tilførte mængde organisk stof (for eksempel energi, kcal), og som det skal vises i det følgende, er recipientens evne til at omsætte organisk stof udnyttet betydeligt, idet iltindholdet i sommerperioden er lavt. Som nævnt under omtalen af sedimentet, sker der i sommerperioden en midlertidig akkumulering af organisk stof, der således i denne kritiske periode forøger iltforbruget.

Gennem 1974 og 1975 er iltforholdene på døgnbasis blevet målt ved Bregnholm mølle og Madesvad i Mattrup å. Disse målinger viser høje iltværdier og ringe døgniltsvingninger i vintermånederne, medens man i sommermånederne iagttager betydelige døgnamplituder med forekomst af meget lave iltkoncentrationer. For at forklare disse forhold blev de forskellige iltinfluerende processer målt og formuleret matematisk. De iltinfluerende processer er:

1. De grønne planters iltproduktion og respiration.

2. Sedimentets respiration.

3. Iltforbrug i vandfasen.

4. Genluftning fra atmosfæren.

Disse processer samt udskylningsmodellen indgår i en fælles model for iltforholdene neden for dambruget. Modellen muliggør beregninger af effekten af forskellige indgreb (for eksempel anvendelse af forskellige fodermængder på dambruget, grødeslåning m.m.).

Beregninger efter denne model viser:

At effekten af dambrugets foderspild på iltforholdene er af underordnet betydning for dyrelivet lige nedenfor dambruget, da den forekommer på et tidspunkt af dagen, hvor iltkoncentrationerne er højest.

At sedimentrespirationen er af stor betydning. Dog vil en nedsættelse af denne ikke give en tilstrækkelig forbedring af iltforholdene til, at rentvandsdyr (for eksempel ørreder og regnbueørreder) kan trives på dette sted.

At grødeslåning bedrer iltforholdene betydeligt, idet de lave natværdier undgås.

Hovedkonklusionen af dambrugsundersøgelsen er, at dambrug gennem tilførsel af organisk stof til recipienten forårsager en betydelig forringelse af vandløbskvaliteten. Denne forringelse fremkommer som følge af vandløbets utilstrækkelige kapacitet til at omsætte de tilførte mængder organisk materiale.

Påvirkningerne er dog forskellige for forskellige vandløb, så en udledning, som et sted kan absorberes, ville et andet sted kunne få alvorlige følger.

Dambrugsundersøgelsen er afrapporteret i Dambrugsundersøgelsen 1973 - 1975, Zoologisk Institut, 1976, /63/, hvor en endelig bearbejdning af det samlede materiale præsenteres.

I afsnit 5.4 er Gudenåsystemets 71 dambrug behandlet under eet, og strækningsvis er anført dambrugenes samlede stofudledning.

5. FORURENING, ART OG KILDER

En samlet opgørelse af Gudenåsystemets belastning og transport af forurening forudsætter dels et kendskab til arten af forureningskomponenterne samt disses skadevirkning og dels en viden om afstrømningsområdets forureningskilder. Forureningskilderne kan opdeles således:

spildevand
regnvand
vand fra dambrug
og diffus tilstrømning fra land- og skovbrugsområder

5.1 FORURENINGSKOMPONENTER, ART OG VIRKNING

I tabel 5.1 er angivet en oversigt vedrørende forureningskomponenternes art og virkning inddelt i 8 hovedgrupper.

På grundlag af Forureningsrådets publikation nr. 10, /15/, er indholdet i tabel 5.1 uddybet i afsnittene 5.1.1 - 5.1.8.

5.1.1 PATOGENE MIKROORGANISMER OG PARASITÆG

Denne forureningsgruppe omfatter patogene (sygdomsfremkaldende) bakterier, virus og parasitæg, der kan forekomme i spildevand. Grupperne bakterier og virus kan yderligere opdeles i mikroorganismer, der kan smitte via vandsystemer, og mikroorganismer, der nok kan forekomme i vandsystemerne, men ikke smitter via disse. Mikroorganismer og parasitter

FORURENINGENS	
ART	VIRKNING
Bakterier, virus og parasitæg	Mulighed for infektioner via badning og fødemidler
Nedbrydeligt organisk stof	Iltsvind
Andre organiske forbindelser	Opkoncentrering i fødekæder, forringet æstetik, eksempelvis misfarvning, skumdannelse
Vækstnæringsstoffer	Plante- og planktonvækst (fotosyntese)
Metalsalte m.m.	Opkoncentrering i fødekæder, hæmning af biologiske processer
Andre uorganiske forbindelser	Eventuel ændring i biologiske vilkår
Termiske påvirkninger	Eventuel ændring i biologiske vilkår
Partikler og stof der under nedbrydning afgiver gasarter	Forringet æstetik

Tabel 5.1

kan her i landet inddeles i naturligt forekommende og eksotiske - idet sidstnævnte gruppe omfatter smitstoffer, der indføres via turisme, gæstearbejdere eller gennem inficerede, importerede varer m.v..

Sygdomme, der kan overføres via vandsystemer, omfatter:

BAKTERIESYGDOMME (bl.a.).

Kolera, tyfus, paratyfus, andre salmonellainfektioner, leptospirose, tuberkulose, samt eventuelt dysenteri og paradysenteri.

PARASITSYGDOMME (bl.a.).

Bændelorm, spoleorm, springorm, piskeorm, hageorm.

Som indikatororganisme for fækalforurening af vand anvendes normalt Escherichia coli (E.coli). Ved undersøgelser af recipienters slam benyttes forrådnelsesbakterien Clostridium perfringens som indikator for forurening.

5.1.2 NEDBRYDELIGT ORGANISK STOF

Ved nedbrydeligt organisk stof forstås substrater, som kan iltes og nedbrydes til stadigt simplere forbindelser, sluttende med at kulstof er omdannet til kuldioxyd, brint til vand og kvælstof til ammonium- eller nitratforbindelser. Denne omsætning af organisk stof udføres af de i jord og vand normalt forekommende bakterier. Den fuldstændige omsætning sker under aerobe forhold, men en anaerob omsætning kan også finde sted.

Stofferne i denne gruppe består hovedsagelig af kulhydrater, lipider og proteiner. Endvidere kan nedbrydningspro-

dukter af disse forbindelser såsom alifatiske alkoholer, alifatiske carboxylsyrer, estre, aldehyder og ketoner, aminosyrer m.v. henregnes til denne gruppe.

5.1.3 ANDRE ORGANISKE FORBINDELSER

Denne gruppe omfatter øvrige organiske forbindelser. Blandt de vigtigste i denne gruppe er detergenter, såvel nonionaktive, anionaktive som kationaktive, biocider, omfattende desinfektionsmidler, pesticider, herunder midler til skadedyrsbekæmpelse m.v., som anvendes dels direkte i forbindelse med vand, dels indirekte i form af sprøjtning og giftudlægning. Organiske farvestoffer henhører også til denne forureningsgruppe, og mineralske olier og petrokemiske produkter, opløsningsmidler m.v. betragtes ligeledes som en del af "andre organiske forbindelser". Karakteristisk for gruppen som helhed er, at stofferne ikke, eller vanskeligere end de i afsnit 5.1.2 omtalte stoffer, nedbrydes af de i naturen forekommende mikroorganismer, hvilket betyder at stofferne kan opkoncentreres gennem fødekæden.

5.1.4 VÆKSTNÆRINGSSTOFFER

Stofferne i denne gruppe er karakteriserede ved, at deres tilstedeværelse er en betingelse for biologisk vækst. I forureningsmæssig henseende er det især stoffer, der betinger fotosyntesen, der har betydning. De vigtigste af disse er kvælstof- og fosforforbindelser, men også mikronæringsstoffer i form af forbindelser af calcium, magnesium, jern, kobber, mangan, kalium og andre må henregnes til denne gruppe. Stofferne kan forekomme i spildevand såvel i form af uorganiske forbindelser, f.eks. stammende fra vaskemidler, eller som affaldsstoffer af animalsk eller vegetabilsk op-

rindelse, som ved naturlig nedbrydning vil frigøre vækstnæringsstoffer.

5.1.5 METALSALTE M.V.

Det er kendt, at en række metaller er mikronæringsstoffer, men at de i større koncentrationer er giftige. I forureningsmæssig henseende er det dels giftigheden over for mikroorganismer, der er af betydning, idet indhold af metalsalte kan hæmme eller standse biologisk aktivitet, for eksempel biologiske rensningsanlægs funktion, dels dette, at de kan opkoncentreres gennem fødekæden. De vigtigste metaller i denne henseende er salte af kviksølv, chrom, bly, kobber, zink, cadmium m.v.. Endvidere medtages i denne gruppe cyanider.

5.1.6 ANDRE UORGANISKE FORBINDELSER

Denne gruppe omfatter andre uorganiske forbindelser. Af disse vil de fleste være uden praktisk betydning på grund af, at de anvendes i meget ringe omfang. Af stoffer, der anvendes i større omfang i denne gruppe, er salt (natriumklorid) og andre klorider, gips (calciumsulfat) og andre sulfater, samt borater, hovedsagelig stammende fra vaskemidler. Afhængig af mængder og koncentrationer kan disse stoffer ændre de biologiske vilkår i recipienten.

5.1.7 TERMISKE PÅVIRKNINGER

Termisk påvirkning af spildevand eller recipientvand kan ske ved en tilførsel af vand med en væsentlig højere eller lavere temperatur end systemets sædvanlige. Dette kan på uheldig måde påvirke recipientens flora eller fauna.

5.1.8 STOFFER OG PARTIKLER, DER GIVER ILDE LUGT OG SMAG SAMT MISFARVNING

Stoffer, der kan give ilde lugt og smag eller misfarvning af vand, er organiske eller uorganiske forbindelser, der enten tilføres spildevandet direkte, eller som opstår ved den mikrobiologiske nedbrydning af de tilførte stoffer i spildevandet. Det er karakteristisk for stofferne i denne gruppe, at de oftest er til stede i så små koncentrationer, at de er vanskelige at identificere ved kemiske og fysiske metoder, samt at deres effekt som regel kun kan vurderes subjektivt.

Herudover kan peges på stoffer, der i partikulær form ødelægger recipienterne æstetisk, for eksempel egentlig drivgods (flasker, plastemballage, flydeslam), småpartikler (fedt- og oliehinder),og opslemmet partikulært materiale (større eller mindre partikler).

5.2 FORURENINGSKILDER - SPILDEVAND

En opgørelse pr. juni 1976 over ca. 95 kloakområder, hvor personækvivalentbelastningen er større end 200 PE, viser, at når spildevandet udledes, erjf. afsnit 3.2

ca. 5 % urenset
ca. 38 % mekanisk renset
ca. 57 % mekanisk-biologisk renset
og ca. 1 % mekanisk-biologisk-kemisk renset

Disse forhold vil dog ændres inden udgangen af 1976, idet Silkeborg og Skanderborg byer vil have ændret de nuværende mekaniske rensningsanlæg til anlæg med mekanisk-biologisk-kemisk rensning.

Belastningsfordelingen kan skønsmæssigt opgøres, som følger:

kloakerede områder > 200 PE ...	ca. 285.000 PE
Industrier med egen udledning	ca. 15.000 PE
Spredt landbebyggelse	ca. 60.000 PE
I ALT	ca. 360.000 PE

Af Gudenåoplandets ca. 240 bysamfund belaster de ca. 40 systemet med spildevand, svarende til 240.000 PE og af belastningen fra de kloakerede områder kommer ca. 130.000 PE fra indbyggere og ca. 155.000 PE fra industrier, for eksempel textilfabrikker, slagterier, mejerier m.m..

Af industrier med egen udledning var der i undersøgelsesperioden følgende:

3	papirfabrikker	(en af disse havde i 1974 eget rensningsanlæg, flotation)
1	fjerkræslagteri	(dette havde biologisk rensning)
10	mejerier	

5.2.1 KOMMUNALE RENSNINGSANLÆG

Formålet med spildevandsundersøgelsen var at vurdere mængde og sammensætning af spildevand, som via rensningsanlæg tilledes Gudenåsystemet. Endvidere omfattede undersøgelsen en vurdering af, i hvor høj grad recipienterne via rensningsanlæggene blev tilført tungmetaller, samt en

biokemisk karakterisering af slamaktiviteten i aktiveret slam fra rensningsanlæg af forskellig type og belastning.

Ved Gudenåundersøgelsen blev der foretaget undersøgelser af spildevandet fra 33 rensningsanlæg. Af figur 5.1 fremgår anlæggenes geografiske placering, og i tabel 5.2 er givet oplysninger om anlæggene og mængder af organisk stof, kvælstof og fosfor udledt fra disse.

Hvor der er angivet beregnede værdier er der anvendt følgende standardværdier pr. PE:

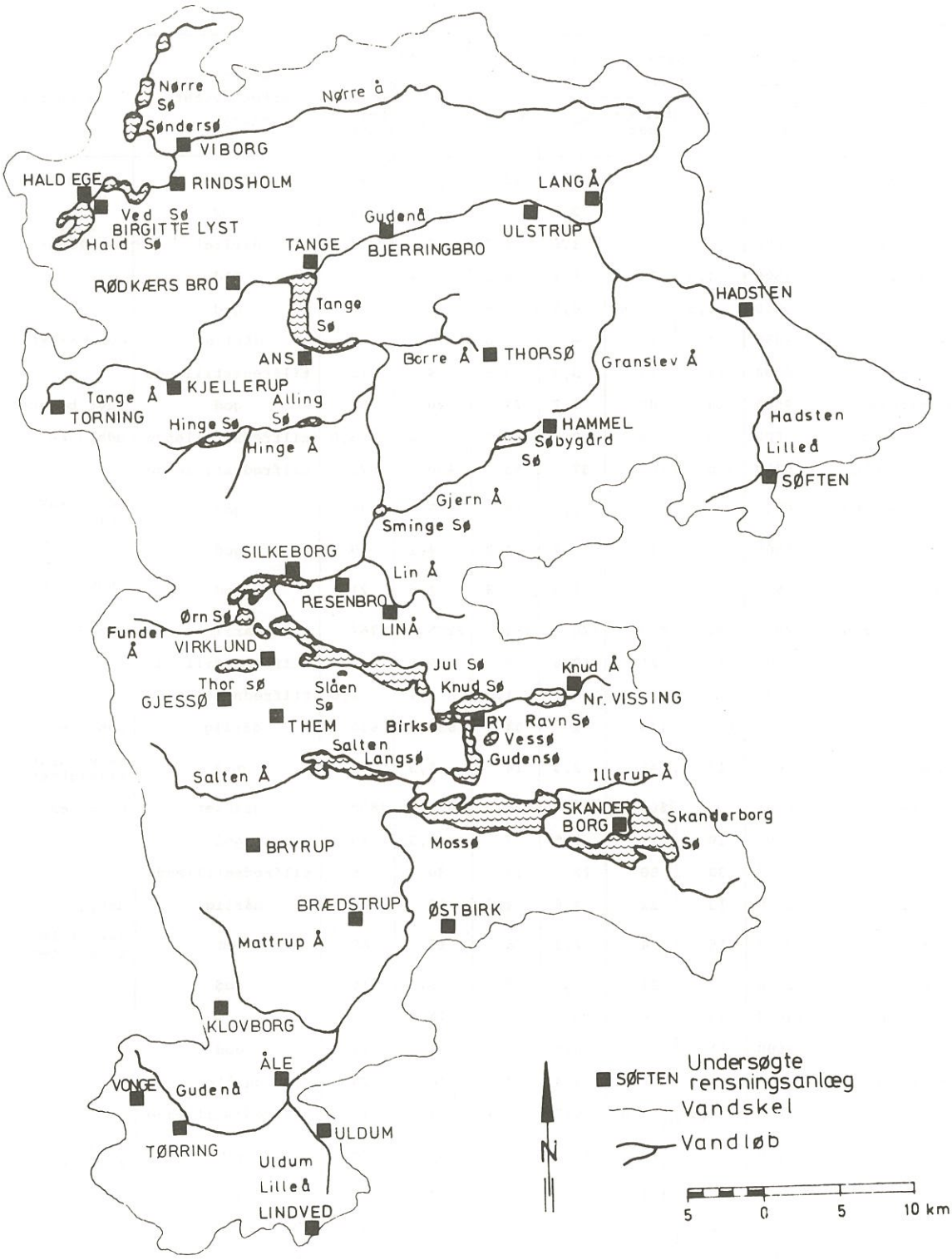
vand	190	l/døgn
org.stof (BI_5)	60	g/døgn
kvælstof	12	g/døgn
fosfor	4	g/døgn

Af fosforbidraget er 1,6 - 1,8 g/døgn fysiologisk udskilt og restbidraget henføres til bidrag fra vaskemidler i form af polyfosfater, /26/.

Som standardværdier for rensningseffekt er ved beregningerne anvendt følgende reduktioner:

	REDUKTION AF		
	org.stof	kvælstof	fosfor
mekanisk rensning	30 %	20 %	10 %
biologisk rensning	90 %	30 %	30 %

Spildevandsundersøgelsen konkluderer, at rensningseffektiviteten for hovedparten af anlæggene er god. Rensningsanlæggene i Tørring, Klovborg, Silkeborg, Åle, Hammel, Ulstrup og Rødkærsbro er overbelastede, og der måltes fra disse rensningsanlæg større udledningsmængder af kvælstof, fosfor og/eller organisk materiale (BI_5) i



Figur 5.1 Undersøgte rensningsanlæg i Gudenåsystemet.

Rensnings-anlæg	Dimen-sione-ret PE	Total-N kg/døgn		Total-P kg/døgn		BI_5 kg/døgn		Anlægs-effektivitet 1973-75	Bemærkninger
		målt	bereg-net	målt	bereg-net	målt	bereg-net		
Tørring	3300	15	32	3,7	12	30	20	dårlig	overbelastet
Uldum	3500	13	29	2,8	9,8	10	21	god	
Klovborg	600	6	5	1,6	1,7	7	3,6	dårlig	slamflugt
Lindved	1500	1,3	13	1,1	4,2	1,4	9	god	
Vonge	1000	1,3	8,4	0,7	2,8	1,7	6	god	
Åle	1050	1,3	10	-	3,8	14	44	dårlig	overbelastet
Østbirk	2000	11	17	3,3	5,6	4	12	tilfredsstillende	
Brædstrup	9500	28	80	9,2	27	20	57	god	lavt belastet
Nr. Vissing	600	3	5	0,7	1,7	2,4	3,6	tilfredsstillende	udbygges
Skbg. Vrold	16000	130	154	37	58	400	672	tilfredsstillende	
Skbg. gl. by	6750	6,9	57	1,3	19	5	41	god	meget lavt belastet
Bryrup	1500	5,9	13	1,4	4,2	4,1	9	god	
Them	3500	1,6	29	1,5	9,8	1,6	21	god	ikke fuldt tilsluttet
Silkebg.Søholt	42000	470	403	120	151	2275	1764	dårlig	udbygges
Resenbro	1600	18	21	2,6	7	9,6	15	tilfredsstillende	
Linå	430	6	3,6	0,9	1,2	3,1	2,6	tilfredsstillende	
Hammel	15000	134	144	31	54	850	630	dårlig	udbygges
Langå	5000	13	42	2,3	14	8,3	30	god	ikke fuldt tilsluttet
Hadsten	30000	98	360	26	120	575	1800	urenset	opbygges
Virklund	2500	10	21	2,9	7	6,3	15	god	
Ry	6000	30	50	12	17	30	36	tilfredsstillende	
Ulstrup	1200	13	12	4,6	4,3	69	50	dårlig	udbygges
Thorsø	10000	16	84	2,1	28	13	60	god	ikke fuldt tilsluttet
Torning	2500	1,8	21	0,8	7	1,3	15	god	
Kjellerup	15000	43	126	13	42	76	90	god	
Ans	3000	11	25	4,6	8,4	11	18	god	
Rødkærsbro	3400	17	29	4,4	9,5	40	20	dårlig	udbygges
Tange	400	2,5	3,8	0,7	1,4	4,9	17	tilfredsstillende	
Bjerringbro	33000	71	277	17	92	55	198	god	ikke fuldt tilsluttet
Viborg	61300	267	514	84	172	309	368	god	
Rindsholm	600	1,4	5,8	0,5	2,2	4,9	25	god	
Birgittelyst	350	3	3,4	1,1	1,3	13	15	tilfredsstillende	
Hald Ege	1800	4,2	15	2,2	5	8,5	11	god	

Tabel 5.2 Sammenligning mellem målte og beregnede udledningsmængder af kvælstof, fosfor og organisk materiale (BI_5).

forhold til, hvad der måtte forventes under optimale driftsforhold. (Visse af anlæggene vil i løbet af 1976 - 1977 være under ændring og udbygning).

Undersøgelsen af tungmetalindholdet i slam fra 26 rensningsanlæg viser, at tungmetalbelastningen af 23 anlæg gennemgående er lav, og recipienterne bliver således kun i ringe grad tilført tungmetaller via rensningsanlæggene. Der er defineret et 0-niveau for tungmetalkoncentrationen i slam fra rensningsanlæg i Gudenåsystemet, idet værdier, der er højere end det dobbelte af gennemsnitsværdien for hovedpopulationen af værdier, betegnes som ekstrem og kan henregnes til en for dette område unormal høj belastning. Tabel 5.3 viser ekstremværdier, og i tabel 5.4 er 0-niveauet for rensningsanlæg i Gudenåsystemet sammenlignet med belastningsgruppe 0, som Pauly, /32/, anfører fra undersøgelsen af 22 danske rensningsanlæg, der er belastet med spildevand fra mere end 5.000 personækvivalenter.

Rensningsanlæg	Cr	Cu	Hg	Ni
Bjerringbro	82			121
Kjellerup	80		11	
Ry		(255)		
Silkeborg Søholt	300		(3,0)	83
Skanderborg gl. by			(4,7)	
Østbirk			(4,0)	
Tange			(3,7)	
Tørring			(3,2)	

Tabel 5.3 Ekstremværdier for tungmetalindhold i slam. Alle værdier mg/kg tørstof. Tal i parantes ligger over Gudenå-0-niveau, men under Pauly's 0-niveau.

	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Gudenå (0) min.-max.	3-9,3	13-48	60-180	0,2-2,0	1,2-41	50-320	640-2200
Gudenå (0) gsn.	5,7	24	121	0,8	23	188	1180
Pauly (0) min.-max.	5-13	25-46	151-474	3-9	16-42	251-475	1316-3274
Pauly (0) gsn.	8	38	286	6	21	340	2000

Tabel 5.4 Gudenå 0-niveau, sammenlignet med Pauly's belastningsgruppe 0. Alle værdier er mg/kg tørstof.

Tre af anlæggene i Gudenåoplandet må karakteriseres at have høj tungmetalbelastning. Disse er:

BJERRINGBRO : Høj belastning med nikkel og i mindre grad med chrom.

KJELLERUP : Høj belastning med kviksølv og chrom.

SILKEBORG : Høj belastning med chrom og nikkel.

Ekstremværdierne for chrom og nikkel i slam fra Bjerringbro kan henføres til en forkromningsanstalt i byen. Det samme er tilfældet i Silkeborg. Et forøget kobberindhold i slam fra Ry kan henføres til en imprægneringsvirksomhed.

Kilden til ekstremværdien for chrom i slam fra Kjellerup rensningsanlæg er endnu ikke lokaliseret. Hospitalsspildevand er årsag til den høje kviksølvbelastning, jf. afsnit 5.2.2.

Årsagen til, at der optræder højere koncentrationer af kviksølv i slam fra Skanderborg, Østbirk, Tange og Tørring kendes ikke. I Silkeborg kan det forhøjede kviksølvniveau skyldes Centralsygehuset, jf. afsnit 5.2.2. Generelt må det dog fremhæves, at kobber- og kviksølvkoncentrationen i slam fra rensningsanlæg i Gudenåsystemet er væsentligt lavere end i de af Pauly angivne 0-gruppe anlæg, jf. tabel 5.4.

Slutdisponering af det undersøgte slam fra rensningsanlæggene er vurderet og vil på basis af resultaterne fra denne undersøgelse kunne foregå ved udbringning på landbrugsjord i mængder, varierende mellem 1,6 - 5 ton slamtørstof pr. hektar pr. år. Da metalkoncentrationen i slammet kan udvise årstidsvariationer, bør der, hvor slammet udbringes på landbrugsjord, foretages kontrolundersøgelser af slammets tungmetalindhold i forbindelse med en løbende justering af udbringningsmængden.

Undersøgelsen af slamaktiviteten i aktiveret slam fra 5 rensningsanlæg i Gudenåsystemet viste, at der på Bjerringbro rensningsanlæg var toxisk virkende materiale i spildevandet. Herefter konstateredes det, at den toxiske virkning kunne henføres til tungmetalbelastningen, og nikkeludledningen er den sandsynlige årsag til slamforgiftningen. De øvrige undersøgte anlægs aktive slam viste normal slamaktivitet.

I forbindelse med undersøgelsen af afløbsvandet fra rensningsanlæg gennemførtes en undersøgelse af indholdet af E.coli og Salmonella.

Resultaterne fra 19 undersøgelser viser, at MPN for E.coli pr. 100 ml i udløbsprøverne varierede mellem $1,3 \cdot 10^4$ og $1,3 \cdot 10^7$. Den hyppigst forekommende koncentration var på 10^6 E.coli pr. 100 ml, det vil sige, at resultaterne svarer til, hvad man ville forvente i udløbene fra mekaniske og biologiske anlæg ved vintertid. Velfungerende biologiske anlæg vil ofte, specielt om sommeren, give udløbsværdier, der er 10 - 100 gange mindre.

Suppleret med resultater fra andre jyske anlæg viste undersøgelsen desuden, at Salmonella kunne påvises i 2 af 8 anlæg tilsluttet mindre end 4.000 PE, mens Salmonella påvistes i 37 af 39 udløbsprøver fra anlæg tilsluttet mere end 4.000 PE. Dette var uafhængigt af, om anlægget var et mekanisk eller et biologisk rensningsanlæg.

Spildevandsundersøgelserne er afrapporteret i Gudenåundersøgelsen, Rapport nr. 7, "Spildevandsundersøgelser" 1975, /48/ samt i "Hygiejnisk vurdering af Gudenåen", Hygiejnisk Institut, 1975, /19/.

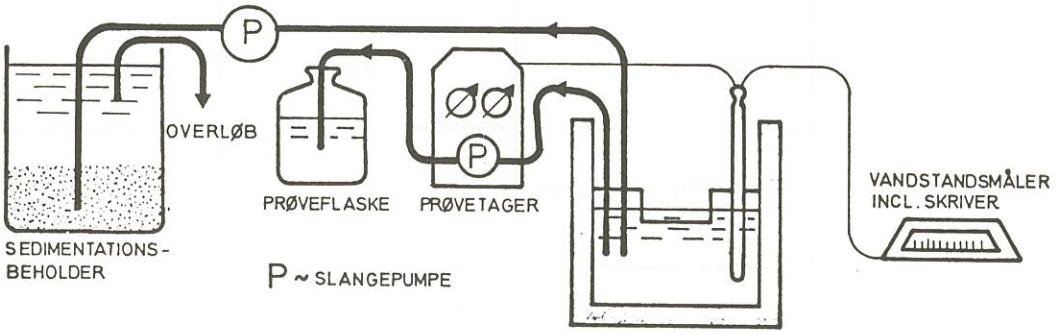
5.2.2 HOSPITALSSPILDEVAND

I forbindelse med gennemførelsen af spildevandsundersøgelserne blev afløbsvandet fra hospitalerne i Brædstrup, Kjellerup og Silkeborg undersøgt. De nævnte sygehuse udleder alle spildevand til de respektive byers kloaksystemer.

Formålet med undersøgelsen var at belyse hospitalsspildevandets sammensætning i forhold til almindeligt byspildevand samt at konstatere, om hospitalsspildevandet udviste hæmning for bakterietyper, identiske med dem, der findes i biologiske rensningsanlæg.

Undersøgelsen gennemførtes med såvel vandmængdemåling som prøveudtagning, jf. figur 5.2.

Prøvetagningsprogrammet bestod i udtagning af gennemsnitsprøver, dag- og natinterval, med analysering for de i husspildevand normalt vurderede stoffer. Desuden undersøgtes den hæmmende effekt på de biologiske processer i aktivt slam. På bundfældeligt stof foretoges analyser for tungmetaller. Hygiejnisk Institut, Århus Universitet, undersøgte ved en stikprøveundersøgelse afløbsvandets indhold af patogene bakterier samt antibiotikas eventuelle hæmmende effekt.



Figur 5.2 Princip for måleopstilling.

Hospitalsundersøgelsen konkluderede:

Hospitalerne havde et vandforbrug pr. år/seng på mellem 275 og 177 m^3. Idet antallet af beskæftigede personer/seng sættes til 1,5 - 2, og da vandforbruget pr. personækvivalent er 70 m^3, ses det, at vandforbruget på hospitalerne er betydeligt. De fleste hospitaler anvender en stor vandmængde på vaskeriet og til rengøring, såfremt denne foregår efter konventionel teknik. De enkelte hospitalsafsnit anbefales derfor at gennemgå deres vandforbrug med henblik på at nedsætte dette.

De udførte vandanalyser viste koncentrationsniveauer for organisk stof, næringsstoffer m.m. på niveau med husspildevand.

Undersøgelser af tungmetaller på bundfældet stof viste, at kviksølv- og sølvindholdet er over den af Pauly, /32/, opstillede 0-gruppe.

Sygehus	Kviksølv mg/kg tørstof	Sølv mg/kg tørstof
BRÆDSTRUP	38	3,7 *
KJELLERUP	87	620
SILKEBORG	52	160
PAULY's 0-gruppe	6	50

* Røntgenafdelingens spildevand udledes separat, derfor denne lave værdi.

Tabel 5.5 Kviksølv- og sølvindhold i slam fra sygehusenes afløbsvand.

Brugen af kviksølvpræparater bør indskrænkes mest muligt, og kviksølvholdige reagenser og analyser bør opsamles og destrueres tillige med knuste termometre. Herudover bør hospitalernes kloaksystemer inspiceres, og vandlåse, evt. samlebrønde bør tømmes hyppigt, og indholdet må destrueres på forsvarlig vis.

For at nedbringe sølvindholdet i spildevandet bør fixer og fremkalder fra røntgenafdelingerne opsamles og regenereres.

Det bundfældede slams indhold af øvrige tungmetaller lå på niveau med eller under 0-gruppens værdier.

Hospitalsspildevandets formodede hæmning af de biologiske processer i rensningsanlæg undersøgtes, og der konstateredes ingen eller meget svag hæmning ved direkte måling på hospitalsspildevandet. Idet dette fortyndes 25-100 gange, inden det når rensningsanlægget, vil der ikke kunne påvises nogen hæmning her.

Ved den hygiejniske undersøgelse påvistes der ikke Salmonella bakterier, mens Ps. aeruginosa påvistes i fire af fem prøver fra henholdsvis Silkeborg og Brædstrup samt i alle prøver fra Kjellerup sygehus.

Der fandtes svag hæmning stammende fra antibiotika overfor bakterier. Denne hæmmende effekt vil være uden betydning, når spildevandet når rensningsanlægget.

Såfremt ovennævnte anbefalinger følges, skulle det under normale forhold ikke være nødvendigt med særlige rensningsforanstaltninger inden udledning til offentligt kloaksystem. Hvis der lokalt skulle opstå forhold med smittefare, bør der kræves desinfektion af spildevandet inden udledning.

Afrapporteringen af hospitalsundersøgelsen er foretaget i Gudenåundersøgelsen, Rapport nr. 4, "Undersøgelse af hospitalsspildevand", 1975, /45/, samt i "Hygiejnisk vurdering af Gudenåen", Hygiejnisk Institut, 1975, /19/.

5.2.3 SPILDEVAND FRA PAPIR- OG PAPFABRIKKER

I forbindelse med Gudenåundersøgelsen gennemførtes en undersøgelse af afløbsvandet fra følgende virksomheder, der alle har selvstændig spildevandsudledning:

Silkeborg Papirfabrik,
udledning til Remstrup å (Gudenå) og Silkeborg Langsø,

J. Smiths Papfabrik, Viborg,
udledning til Nørreå efter rensning i flotationsanlæg,

Vilholt Papfabrik,
udledning til Gudenå før Mossø.

Formålet med undersøgelsen var at vurdere papir- og papfabrikkernes nuværende afløbsvands sammensætning og mængde samt at vurdere recipientsystemets belastning fra disse virksomheder.

Undersøgelsen er gennemført ved udtagning og analysering af vandprøver (mængdeproportionale) i takt med virksomhedernes arbejdsrytme, kontinuert registrering af vandmængderne samt udtagning af sedimenterbart materiale og analysering for tungmetaller, jf. figur 5.2.

Fra de respektive virksomheder udledtes døgnmængder, som vist i tabel 5.6.

	Silkeborg Papirfabrik	J. Smiths Papfabrik	Vilholt Papfabrik
Total kvælstof	10,8 kg	1,0 kg	3,2 kg
Total fosfor	2,2 kg	0,2 kg	0,9 kg
Organisk stof (BI_5)	280 kg	47 kg	103 kg
Organisk stof (COD)	499 kg	107 kg	267 kg
Suspenderet stof	585 kg	82,5 kg	460 kg
Tørstof	2600 kg	343 kg	929 kg
Vandmængde	7171 m^3	1071 m^3	1754 m^3

Tabel 5.6 Udledte døgnmængder fra tre undersøgte pap- og papirfabrikker.

De udledte næringsstofmængder, kvælstof og fosfor, er for alle tre virksomheders vedkommende små (½ - 1%) i forhold til recipienternes egentransport.

Mængden af organisk stof, der udledes fra virksomhederne, medfører, at indholdet af iltforbrugende materiale i de respektive recipienter under minimumsafstrømningsforhold forøges maximalt 20 %. Da det organiske stof er forholdsvis tungt nedbrydeligt, og da recipientkapaciteten i Gudenårecipienterne er god, vil iltforholdene ikke ændres væsentligt ved udledningen af virksomhedernes afløbsvand. Nørreåens recipientkapacitet er opbrugt, og Nørreå bør ikke belastes yderligere med organisk stof.

Udledningen af suspenderet stof og tørstof er især fra Silkeborg Papirfabrik og Vilholt Papfabrik stor. Silkeborg Papirfabrik arbejder p.t. med udarbejdelsen af projekt vedrørende reduktion af suspenderet stof og tørstof, og Vilholt Papfabrik har indstillet papfremstillingen.

Tungmetalbestemmelserne viste, at tungmetalindholdet i bundfældeligt materiale fra de tre virksomheders afløbsvand lå på niveau med eller var lavere end tungmetalindholdet i slam fra ubelastet spildevand, den af Pauly /32/ angivne 0-gruppe. Indhold af kobber og chrom i slam fra Silkeborg Papirfabrik lå dog over Gudenå 0-niveau.

Der er konstateret forhøjet indhold af kviksølv i sedimentet i Remstrup å og Silkeborg langsø - et forhold, der skyldes anvendelsen af kviksølv som svampebekæmpelsesmiddel i importeret papirmasse omkring 1960'erne, jf. afsnit 4.6. Der er ikke registreret tilsvarende forhold i Nørreå og Gudenå efter Vilholt.

Undersøgelsen er afrapporteret i Gudenåundersøgelsen, Rapport nr. 5, "Spildevandsundersøgelse af papir- og papfabrikker", 1975, /46/.

5.2.4 SPILDEVAND FRA FJERKRÆSLAGTERI

I forbindelse med Gudenåundersøgelsen undersøgtes afløbsvandet fra Post Fjerkræslagteri i Holmstol, der efter biologisk rensning har separat udledning i Dalby bæk, et sidetilløb til Gjern å.

Undersøgelsen er gennemført ved udtagning og analysering af vandprøver i takt med virksomhedernes arbejdsrytme, kontinuert registrering af vandmængderne samt udtagning af sedimenterbart materiale og analysering for tungmetaller.

Der er ved undersøgelsen konstateret følgende:

Spildevandsafledningen fra Post Fjerkræslagteri udgør ca. 25,5 m^3 procesvand pr. 1000 kyllinger. Denne vandmængde svarer til et vandforbrug for 890 personækvivalenter (PE).

Post Fjerkræslagteri tilfører rensningsanlægget en organisk stofmængde, svarende til gennemsnitligt 870 PE, beregnet som biokemisk iltforbrug. Dette svarer til en organisk belastning på BI_5 ~ 7,5 kg O_2 pr. 1000 kyllinger.

Indholdet af næringssalte i spildevandet viser underskud af fosfor i forhold til organisk stof, men fosformængden er dog tilstrækkelig til høj biologisk aktivitet i de biologiske filtre. Total-N-koncentrationen er på niveau med koncentrationen i husspildevand.

Slammet fra Post Fjerkræslagteris spildevand har et tungmetalindhold, der er overordentligt lavt i forhold til Gudenå og Pauly's 0-niveau.

Det interne rensningsanlæg hos Post Fjerkræslagteri viste i måleperioden en rensningseffekt på ca. 80 % med hensyn til organisk stof (BI_5). I sommerperioden har anlægget reduceret den organiske stofmængde med op til ca. 95 %. Afløbskoncentrationen lå i måleperioden gennemsnitligt på:

BI_5	:	54,0 mg O_2/l
Total-N	:	22,0 mg/l
Total-P	:	3,5 mg/l

Dette svarer til en 50 % reduktion af såvel total-N som total-P.

Der udledes i gennemsnit følgende døgnmængder:

Org.stof	:	9,0 kg/døgn
Kvælstof	:	4,0 kg/døgn
Fosfor	:	0,6 kg/døgn

Recipienten Dalby bæk karakteriseres efter udledningen fra Post Fjerkræslagteri som værende <u>ret svagt forurenet</u>, forureningsgrad II.

Anslyser og mængdevurderinger afspejler, at der sker en spildevandstilførsel, men det skønnes, at Dalby bæk kan modtage og omsætte spildevandets organiske stof uden gener for faunaen i vandløbet. De udledte mængder kvælstof og fosfor udgør ca. 1 - 2 % af de næringsstofmængder, der passerer hovedmålestationen i Gjern å.

Undersøgelsen er afrapporteret i Gudenåundersøgelsen, rapport nr. 6, "Spildevandsundersøgelser af Post Fjerkræslagteri i Holmstol" 1975, /47/.

5.2.5 FORURENINGSKILDER - MEJERISPILDEVAND

Belastningen fra mejeriers udledning af spildevand er for de mejerier, der ikke har udsprøjtningsanlæg eller leder til et kommunalt rensningsanlæg, opgjort i tabel 5.7, idet der er benyttet omsætningsværdier udfra antal kg behandlet mælk og følgende teoretiske værdier: I gennemsnit kan der regnes med, at der pr. kg indvejet mælk "produceres" organisk stof, svarende til 2 g BI_5. I mejerispildevand er

$$BI_5:N:P = 1000:40:10.$$

	org.stof BI_5 t/år	kvælstof t/år	fosfor t/år
Til Gudenåen	66	2,6	0,7
Til søer	19	0,8	0,2
Til Gjern å	22	0,9	0,2
Til Hadsten lilleå	26	1,1	0,3
Til Nørre å	10	0,4	0,1

Tabel 5.7 Stofudledninger fra mejerier.

Idet der regnes med en 10 %-reduktion, svarende til dårlig mekanisk rensning før udledning i recipient, kan de samlede mængder opgøres til

org.stof	130 tons/år
total-kvælstof	5 tons/år
total-fosfor	1,3 tons/år

Næringsstofmængderne er relativt små, men mængden af organisk stof er af en sådan størrelse, at mejerispildevandsudledningerne må forventes at forringe mindre vandløbs vandkvalitet.

5.3 FORURENINGSKILDER - REGNVAND

Der er gennemført undersøgelser af regnvandsafstrømning fra separat og fælles kloakerede områder for at få et indtryk af forureningskomponenter og -mængder, som under regnvejr tilføres recipienterne.

For et blandet industri- og et lavt bebyggelsesområde i Viborg med separatsystem er der fundet følgende maksimale og gennemsnitskoncentrationer i mg/l af

	Maksimale værdier	Middel værdier
Organisk stof COD_{perm}	90	25
Total-fosfor	0,9	0,3
Total-kvælstof	14	5

Den årlige transport til recipienten Nørresø er opgjort til

Organisk stof, COD_{perm}	70 kg/ha/år
Total-fosfor	1 kg/ha/år
Total-kvælstof	14 kg/ha/år

Undersøgelser for opland i Skanderborg viser væsentlige højere (ca. 50 og 100 %) koncentrationer og dermed transport af både kvælstof og fosfor, men dette områdes særlige topografiske udformning, grønne områder med stejle, let eroderbare slugter, er skyld i dette. Af andre parametre, der stikprøvevis er målt, er suspenderet stof, bly og cadmium.

Et særligt forhold er belyst via undersøgelser på Viborg centralrensningsanlæg, nemlig anlæggets dårlige funktion under regnvejr.

På grund af uhensigtsmæssig udformning - fejlen er nu rettet - skulle store mængder regnvand gennem hele anlægget med en hydraulisk overbelastning til følge. Resultatet var, at recipienten Nørre å med mellemrum fik tilført fra 5 - 20 gange tørvejrsmængden af organisk stof fra rensningsanlægget. Der er gennemført en iltsvindsberegning af virkningen af denne ekstraordinære belastning af Nørre å. Beregningerne viser, at der i op til 8 timer vil være stort set anaerobe (iltfrie) forhold på en delstrækning af Nørre å.

I Gudenåsystemet skønnes regnvandsbelastningen for de urbaniserede områder foreløbig kun at have lokal effekt. Til brug ved stoftransportvurderingerne er som direkte nedbørsbidrag på søflader benyttet 15 kg N/ha/år og 0,1 kg P/ha/år.

Undersøgelsen er afrapporteret i Gudenåundersøgelsen, Rapport nr. 17, Regnvandsundersøgelser, 1976, /58/.

5.4 FORURENINGSKILDER - DAMBRUG

Af Danmarks ca. 530 dambrug, som næsten alle ligger i Jylland, ligger 71 ved Gudenåsystemet. Gudenåens opland er ved Randers 2580 km^2, hvilket er 8,8 % af Jyllands areal. Der er således med hensyn til antal dambrug en vis "overkoncentration" af dambrug, sammenlignet arealmæssigt med Jyllands gennemsnit.

Dambrugene ved Gudenåen er ikke jævnt fordelt, idet topografiske forhold m.v. gør, at visse egne er bedre egnede til dambrugsdrift end andre. F.eks. er de vestlige, grundvandspåvirkede vandløb mere attraktive for dambrug end de østlige vandløb, som er nedbørs-, spildevands- og overfladevandsdominerede.

For at opgøre forureningsmængderne fra Gudenåoplandets dambrug gennemførtes en registrering af disse, hvor oplysninger om driftsforhold, størrelse m.m. er sat i relation til en skønnet stofudledning.

Af de oprindelige 71 dambrug var 8 ude af drift eller nedlagt i 1974 - 75. Af de resterende 63 dambrug (~ 12 % på landsbasis) foreligger der kun få informationer om 12 dambrug. Dette skyldes, at de enten ikke er blevet forespurgt på grund af en beskeden størrelse (1 - 2 damme), eller fordi der ingen interesse har været i at deltage i undersøgelsen.

Af de 51 registrerede dambrug drives 15 som klækkeri- og yngeldambrug, 20 drives som konsumdambrug, og 16 dambrug drives med blandet produktion.

Produktionen på Gudenåsystemets dambrug udgør 1200 tons yngel og konsumfisk pr. år og ca. 150 millioner æg pr. år.

Produktionen svarer til 9 % af Danmarks produktion.

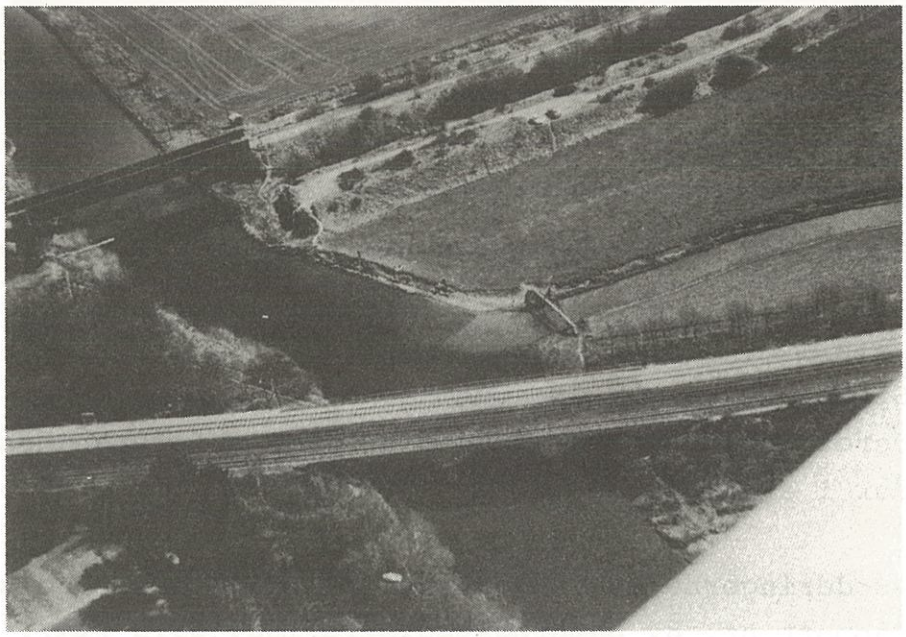
Det samlede antal damme er 1628, svarende til ca. 25 damme pr. brug.

Foderanvendelsen er ca. 5 kg vådfoder pr. kg fisk, der produceres, eller 1,5 - 2 kg tørfoder pr. kg produceret fisk.

5.4.1 BELASTNING FRA DAMBRUG

Belastningen af Gudenåsystemet med organisk stof (BI_5), fosfor og kvælstof fra de 63 dambrug, som var i drift, er estimeret til 1035 ton organisk stof (BI_5)/år, 28 ton fosfor/år og 207 ton kvælstof/år.

I tabel 5.8 er givet en områdevis fordeling af belastningen fra dambrugene.



Gudenå og Hadsten lilleås sammenløb. Bemærk Lilleåens udseende, flydeslam m.m. fra et nærliggende dambrug.

Lokalitet	TON/ÅR		
	BI_5	Total-P	Total-N
Tørring, Alsted mølleå	55,4	1,4	10
Mattrup å	73,7	2,1	14,5
Tåning å	3,5	0,13	0,5
Mossø (via bække)	54	1,14	11
Salten å	166	4,5	33,8
Funder å	165,6	4,4	34,5
Silkeborg langsø	13,5	0,36	2,7
Linå	9,3	0,34	1,3
Gjernå	5,4	0,2	0,7
Hinge å	44	1,3	8,2
Tange å	4,7	0,17	0,7
Hadsten lilleå	108	2,9	22,5
Hald sø	104	2,8	21,5
Vedsø	96,3	2,6	19,3
Nørreå	99	2,6	19,8
Gudenå hovedløb	32,4	0,93	6,12
Gudenåsystemet i alt	1034,7	27,8	207,1

Tabel 5.8 Belastningen fra dambrug i Gudenåsystemet fra 1/4 1974 til 1/4 1975.

Stofbelastningen fra Gudenåoplandets dambrug er vurderet under eet sammen med de øvrige forureningskilder i afsnit 5.6.

Vurderingerne er rapporteret i Gudenåundersøgelsen, rapport nr. 8, Dambrugsregistrering, 1975 /49/.

5.5 FORURENINGSKILDER - DIFFUSE KILDER (LANDBRUG)

Inden for Gudenåens opland er der gennemført undersøgelser af afstrømningen fra to deciderede landbrugsområder samt fra et område med blandet skov- og landbrug.

Formålet med disse undersøgelser var at bestemme, hvor store mængder kvælstof og fosfor der afgives fra skov- og landbrugsområder, d.v.s. jordarealerne og de dyr og personer, der opholder sig her.

Undersøgelserne er udført af Hedeselskabet og Vandkvalitetsinstituttet.

5.5.1 STOFTRANSPORT

GRANSLEV Å

Granslev å oplandet (43 km^2) frem til og med Granslev by består af ca. 50 % skov- og 50 % landbrugsarealer og modtager kun i mindre omfang spildevand fra kloaksystemer. Idet der er korrigeret for kloaksystemernes bidrag, kan det diffuse bidrag fra skov- og landbrugområdet opgøres til:

Kvælstof	7,0	kg/ha/år
Fosfor	0,15	kg/ha/år

GJELBÆK

Gjelbæk (sideløb til Gjern å) med målestation ved Lyngby bro har her et opland på ca. 12 km^2. Området

er et decideret landbrugsområde, og jordtypen er en svær lerjord i et noget bakket terræn. Spildevandsudledning i området er knyttet lokalt til gårdene i området, normalt ved anvendelsen af septictanke.

Stoftransporten ved Lyngby bro er opgjort til følgende mængder (kg/ha/år):

	Total N	Total P
1973 - 1974	24	0,37
1974 - 1975	26,4	0,48
Middel	25	0,43

VOELBÆK

Voelbæk med målestation før afløb fra Voel bys rensningsanlæg har et opland på 11 km^2. Området er decideret landbrugsområde, og jordtypen er let til sandet lerjord. Spildevandsudledningen er knyttet lokalt til gårdene i området, normalt ved anvendelsen af septictanke.

Stoftransporten er opgjort til følgende mængder (kg/ha/år):

	Total N	Total P
1973 - 1974	12	0,11
1974 - 1975	15	0,22
Middel	14	0,17

Ved beregninger af belastningen fra landbrugsområder er der derfor anvendt et skønnet gennemsnitsbidrag på:

20	kg N/ha/år	i den øvre del af Gudenåsystemet
0,2	kg P/ha/år	
15	kg N/ha/år	i den nedre del af Gudenåsystemet.
0,15	kg P/ha/år	

På grundlag af stoftransportvurderingerne kan de diffuse bidrag i Gudenåsystemet fordeles som anført i tabel 5.9.

Områdekarakter	kg N/ ha/år	kg P/ ha/år
Øvre løb med stærkt terrænfald	28	0,90
Øvre løb med oversvømmede engarealer i vinterperioden	22,5	0,02
Mossø området	10	0,20
Himmelbjergsø området og lignende områder med blandet skovbevoksning og landbrug	7	0,15
Kildevældsområder (Salten å, Funder å)	1	0,15
Intensive landbrugsområder (Hinge å, Gjern å, Tange å)	15 - 20	0,35
Gudenåens nedre løb	6 - 20	0,15-0,20
Voelbæk (middel af 2-års målinger)	14	0,17
Gjelbæk (middel af 2-års målinger)	25	0,43

Tabel 5.9 Diffuse bidrag (landbrugsbidrag) af N og P i forskellige dele af Gudenåsystemet.

De opgjorte værdier svarer stort set til tilsvarende diffuse bidrag (ifølge /26/) opgjort for f.eks.:

	kg N/ha/år	kg P/ha/år
Områder på Lolland	16	0,3
Områder ved Mariager	18	0,7
Haderslev	14	1,6
Tryggevælde	23	~ 0

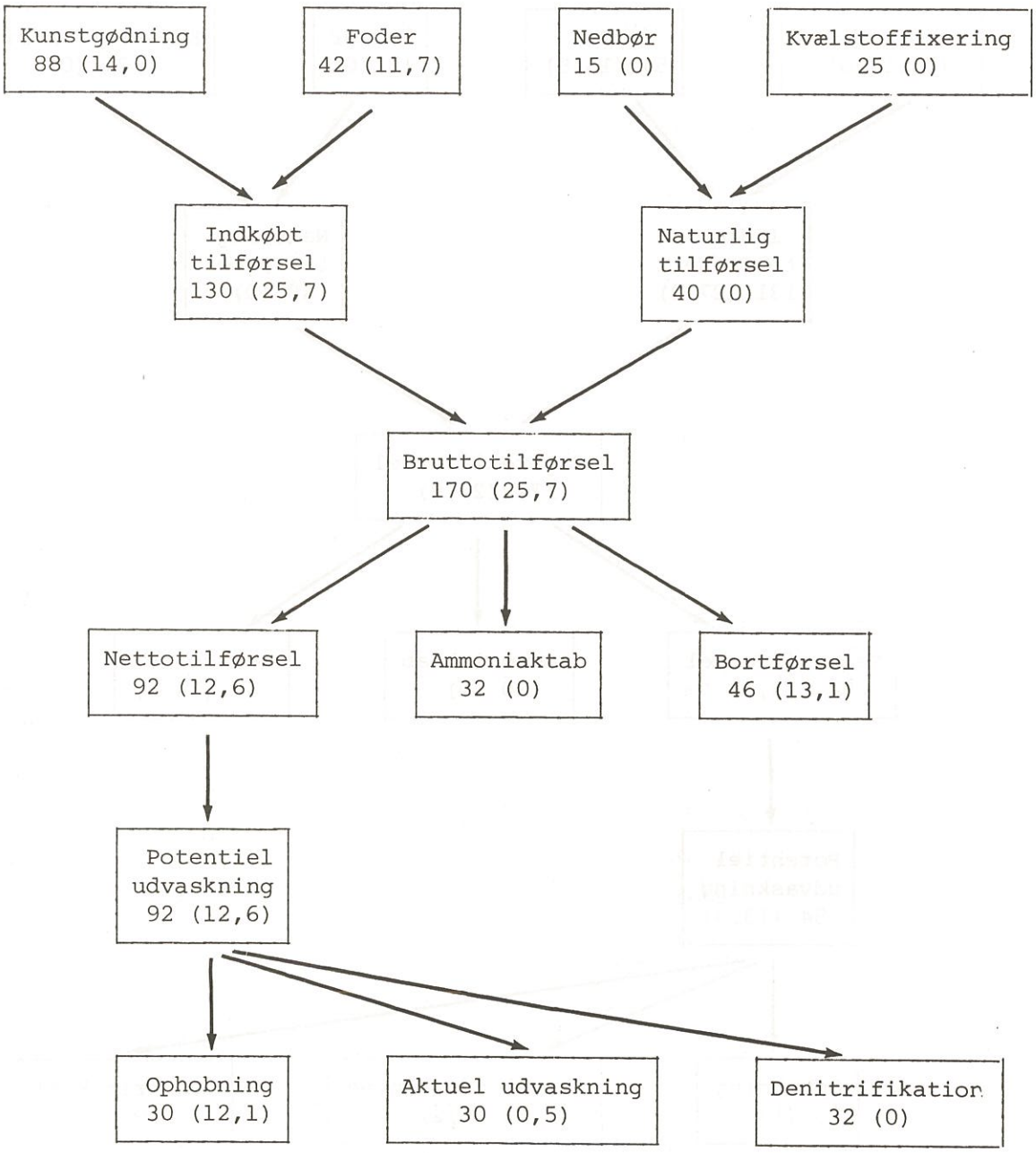
5.5.2 KVÆLSTOF- OG FOSFORBALANCE

Hedeselskabet har som et led i denne undersøgelse opgjort tilførsler og omsætninger af næringsstoffer til oplandene Gjelbæk og Voelbæk. Stofbalancerne er angivet i figurene 5.3 og 5.4.

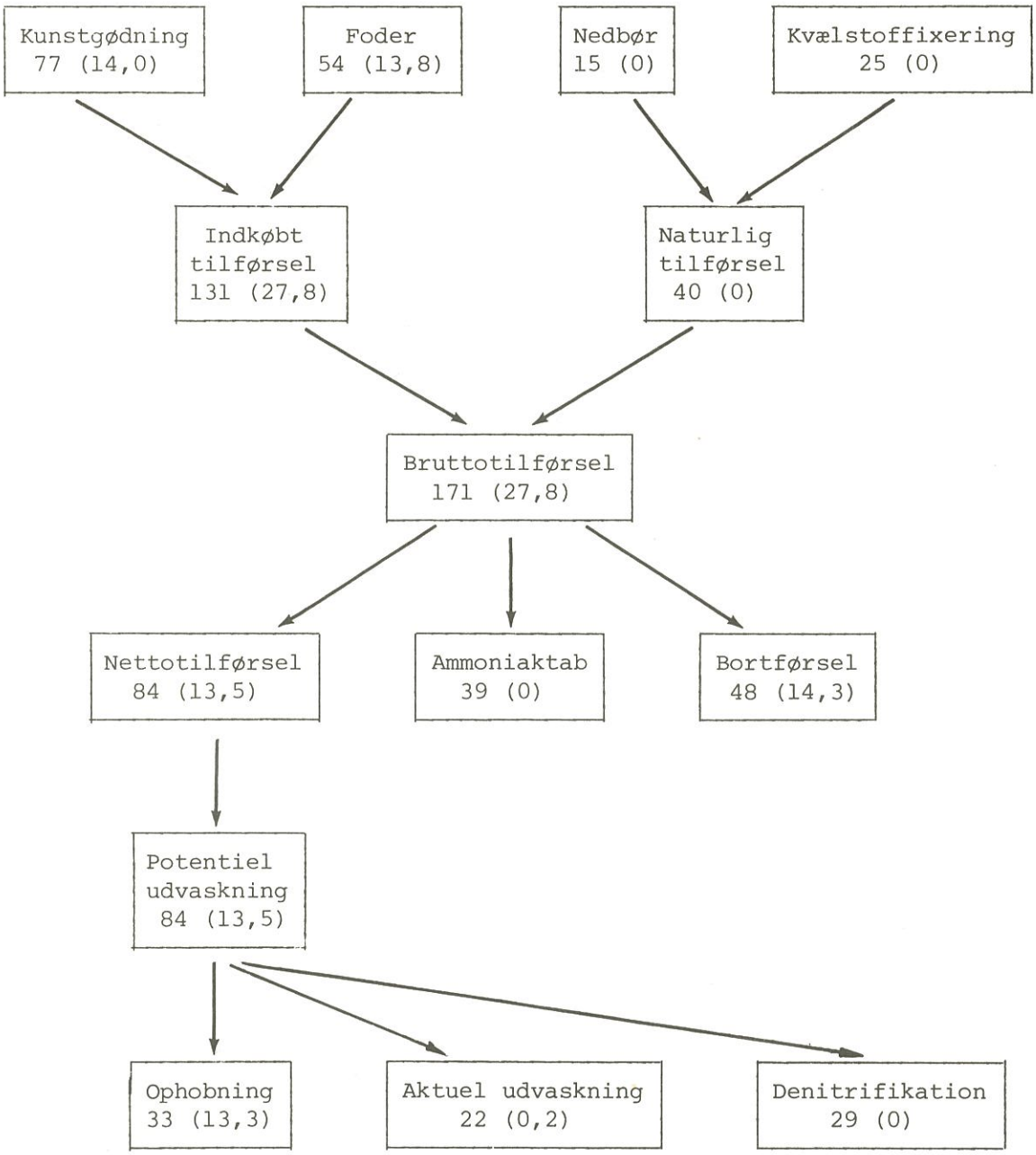
Det ses, at ca. 10 - 20 % af tilført kvælstof og ca. 1 - 2 % af tilført fosfor udvaskes.

I denne sammenhæng må det understreges, at en del af fosforbidraget fra de diffuse kilder skyldes uhensigtsmæssig afledning af landbrugsejendommenes afløbsvand fra husholdning, stalde og møddinger. Udledning af ajle og ensilagesaft er forbudt i henhold til vandløbsloven, men lejlighedsvis kan der ske direkte og/eller indirekte udledning gennem drænsystemet til vandløbene.

Undersøgelsesresultaterne er afrapporteret i "Landbrugets potentielle bidrag til vandløbs næringsstofbelastning", Hedeselskabet 1975 /10/ og Gudenåundersøgelsen, rapport nr. 12, Stoftransporter, 1976 /53/.



Figur 5.3 Kvælstof- og fosforbalance for en gennemsnits ejendom i oplandet til Gjelbæk. Tallene i parentes er for fosfor. Alle tal er i kg pr. ha pr. år.



Figur 5.4 Kvælstof- og fosforbalance for en gennemsnits ejendom i oplandet til Voelbæk. Tallene i parentes er for fosfor. Alle tal er i kg pr. ha pr. år.

5.6 STOFTRANSPORTER I GUDENÅSYSTEMET

For at følge stofudledningerne og disses transport gennem Gudenåoplandet blev der i perioden november 1973 til marts 1975 målt vand- og stoftransport ved 26 hovedstationer samt 4 supplerende stationer. Målestationernes placering samt navn er angivet på figur 5.5, se også tabel 4.2.

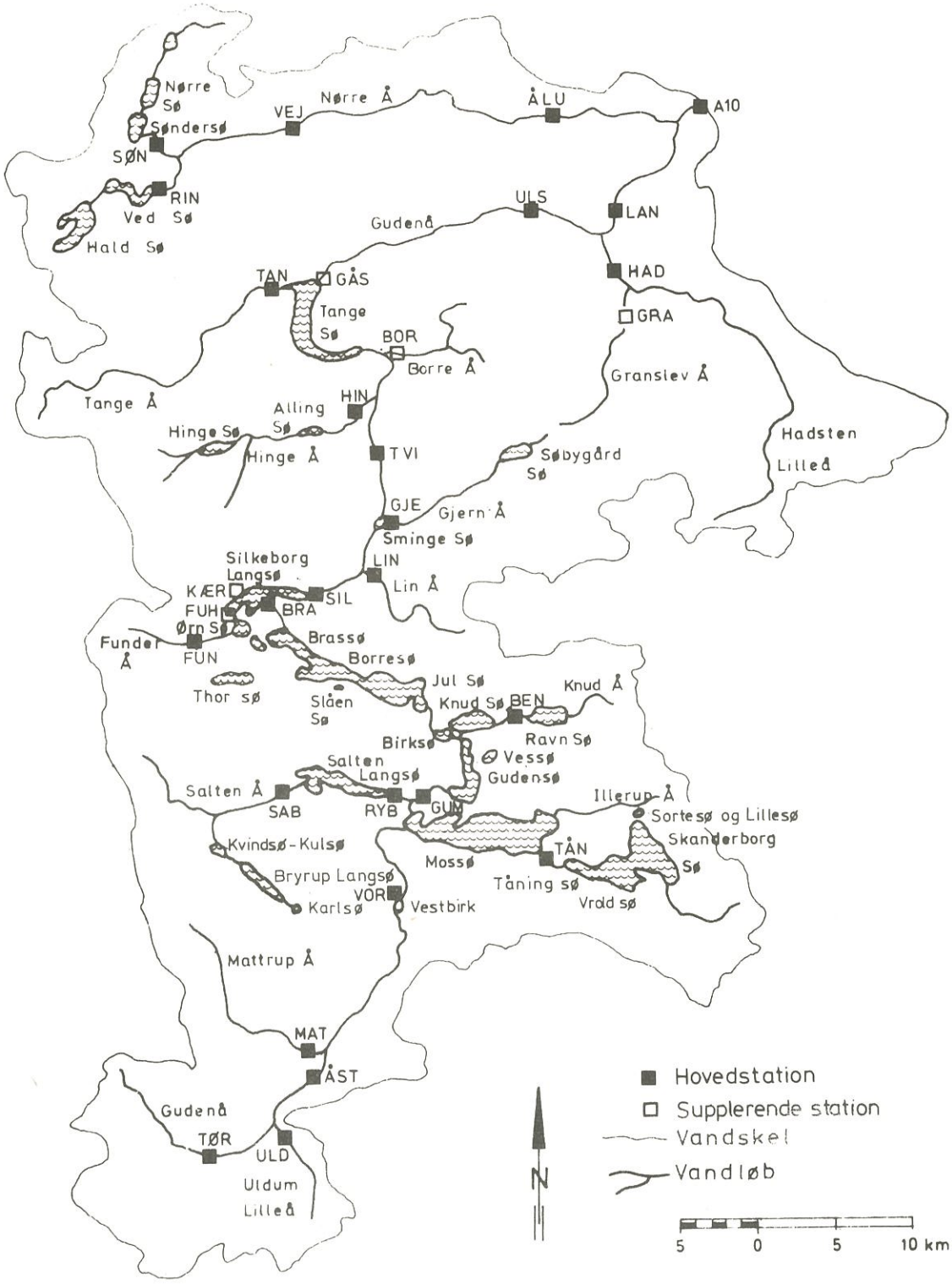
Stoftransportmåleprogrammet har hovedsageligt omfattet transport af kvælstof- og fosforfraktioner samt organisk stof.

Transporten af kvælstof foregår hovedsageligt i form af uorganisk kvælstof i opløsning, og den altovervejende del af transporten finder sted i perioden november til marts, svarende til den periode, hvor uorganisk kvælstof i mindst udstrækning er bundet i jorden af plantevækst (afgrøder), og hvor afstrømningsintensiteten samtidig er størst.

Transporten af fosfor foregår gennemgående ligeligt fordelt mellem uorganisk fosfor i opløsning og partikulært bundet fosfor. Den overvejende del af fosfortransporten skyldes fosforudledninger med spildevand, hvorfor variationen i fosfortransport mellem vinterperioden og den øvrige del af året er væsentlig mindre markant, end tilfældet er for kvælstoftransporten.

Transport af oxiderbart materiale (organisk stof) foregår hovedsageligt i form af opløst materiale.

Normalkoncentrationen af fosfor i Gudenåsystemet ville - hvis der ikke forekom spildevandsudledninger -



Figur 5.5 Oversigtskort over målestationer for stoftransport.

være af størrelsen 0,06 mg P/l, svarende til et diffust bidrag af fosfor af størrelsen 0,20 kg/ha/år.

Stoftransporten af kvælstof og fosfor på årsbasis for 1974 i Gudenåens hovedløb er angivet i tabel 5.10. I denne oversigt er foruden totaltransporten ved hovedstationerne i hovedløbet angivet fordelingen af totaltransporten på følgende kilder:

Diffuse (landbrug)

Dambrug

Spildevand.

Regnvandsbidraget, der i denne sammenhæng er meget lille, er lokalt indregnet under kilden: diffus.

Endvidere er ophobning henholdsvis fjernelse af fosfor og kvælstof i systemet angivet dels som absolutværdier for systemet mellem to på hinanden følgende hovedstationer i Gudenåløbet, dels som de totalt ophobede henholdsvis fjernede mængder i systemet frem til de enkelte stationer i hovedløbet. Figur 5.6 og figur 5.7 viser i diagramform transport og ophobning henholdsvis fjernelse af fosfor og kvælstof i Gudenåsystemet for 1974. Ved udarbejdelsen af diagrammerne er værdierne i tabel 5.10 anvendt.

I Gudenåsystemets søer og åstrækninger sker der en reduktion i stoftransport af størrelsesordenen ca. 28 % for kvælstof og ca. 35 % for fosfor, d.v.s. en reduktion af samme størrelse som den, der finder sted i mekanisk-biologiske rensningsanlæg (30 % reduktion af kvælstof og fosfor).

Stoftransporten af organisk materiale for år 1974 i Gudenåens hovedløb er angivet i tabel 5.11. I denne

	LANDBRUG		DAMBRUG		SPILDEVAND		TOTAL		OPHOBNING/ FJERNELSE		Σ OPHOBNING/ FJERNELSE	
	N ton	P ton	N ton	P ton	N ton	P ton	N ton	P ton	N ton	P ton	N ton	P ton
TØRRING	210,3	6,8	10,0	1,4	6,0	1,7	226,3	9,9	0,0	0,0	0,0	0,0
ÅSTEDBRO	485,9	8,5	10,0	1,4	15,9	4,1	511,8	14,0	0,0	0,0	0,0	0,0
VOERVADSBRO	546,5	11,5	19,0	3,2	29,0	9,2	594,5	23,9	110,0	1,7	110,0	1,7
UD AF MOSSØ	623,2	13,1	25,4	3,8	49,0	14,1	697,6	31,0	212,2	12,9	322,2	14,6
IND I GUDENSØ	675,1	15,1	48,1	6,4	56,8	16,5	780,0	38,0	22,7	3,8	344,9	18,4
UD AF BRASSØ	655,2	14,5	38,8	5,2	95,1	31,1	789,1	50,8	174,1	9,5	519,0	27,9
UD AF SILKE-BORG LANGSØ	680,3	14,4	50,8	7,2	256,7	73,5	987,8	95,1	124,1	12,0	643,1	39,9
TVILUMBRO	938,3	17,0	51,8	7,1	303,1	74,3	1293,2	98,4	39,0	16,2	682,1	56,1
UD AF TANGESØ	1348,8	20,9	49,6	6,2	301,6	68,3	1700,0	95,4	339,6	31,2	1021,7	87,3
ULSTRUP	1405,9	22,5	55,6	7,1	332,4	84,8	1793,9	114,4	3,7	0,0	1025,4	87,3
LANGÅ	2053,7	27,6	78,1	10,1	490,2	119,5	2622,0	157,1	0,0	0,0	1025,4	87,3
A 10 MOTORVEJ	2329,6	33,7	109,5	14,6	592,9	152,9	3032,0	201,0	155,8	19,3	1181,2	106,6

Tabel 5.10 Fordeling af stoftransport og fjernelse/ophobning af kvælstof og fosfor i Gudenåsystemet for året 1974. Usikkerheden på angivelserne er 10 - 15 %.

oversigt er foruden totaltransporten ved hovedstationerne i Gudenåløbet angivet sedimenteret og omsat mængde, dels som absolutværdier for systemet mellem to på hinanden følgende hovedstationer, dels som den sedimenterede og omsatte mængde i systemet frem til de enkelte stationer. Figur 5.8 viser i diagramform transport og den fjernede mængde organisk materiale (omsat og sedimenteret) i Gudenåsystemet for 1974, som anført i tabel 5.12.

Værdierne anført i tabel 5.10 for ophobning/fjernelse af kvælstof er for søstrækningerne af Gudenåsystemet summen af nettoophobningen i sedimentet og den denitrificerede mængde, ligesom værdierne, anført i tabel 5.12 for bruttosedimentation af organisk materiale er summen af nettosedimentationen og den sedimentrespirerede mængde. I tabel 5.11 er anført værdier for nettoophobning i 1974 af kvælstof, fosfor og organisk kulstof i sedimenterne i Gudenåsystemets søer. Endvidere er de mængder af kvælstof og organisk kulstof, der er fjernet ved denitrifikation (N) og sedimentrespiration (C) anført, ligesom sedimenttilvæksten i 1974 er beregnet. Endelig er til supplerende belysning af disse værdier anført:

Tilførsel i 1974 af N og P til søerne.

Overfladebelastning i 1974 for N og P af søerne.

Primærproduktion i 1974 i søerne.

Hydraulisk opholdstid i søerne, beregnet udfra vandføringsmålingerne (middel) 1974.

Sø	Nettoophobning			Denitrifikation	Sedimentrespiration	Sedimenttilvækst	Tilførsel		Overfladebelastning		Primærproduktion (inkubator)	Hydraulisk opholdstid middel
	ton N/år	ton P/år	ton C/år	ton N/år	ton C/år	mm/år	ton N	ton P	g N /m^2·år	g P /m^2·år	g C/m^2·år	døgn
Skanderborg søer	35	9,1	220	41	655	4	179	16,5	21 (28***)	2 (5***)	250****	740
Mossø	26	3,8	166	110	244	1	833 (214**)	34,8 (10,1**)	49 (16**)	2 (0,8**)	200****	265*****
Salten Langsø	10	3,8	75	13	50	3	69	9,2	23	3	140	76
Gudensø + Ry Møllesø	26*)	1,1	-	-	-	(4)	780	38,0	448	22	200****	5
Birk sø + Juul sø	103*)	5,6	-	-	-	(4)	880	51,8	143	6	240****	48
Borre sø	30*)	1,8	-	-	-	(4)	815	53,2	418	27	240****	10
Brassø	6	1,0	28	10	9	4	805	51,8	706	45	240	5
Ørnsø	8	4,2	67	24	142	18	73	9,8	174	23	310	18
Silkeborg Langsø I	2	0,9	16	12	29	4	59	7,0	142	20	280	9
" II	~ 0	0,1	2	3	3	0,5	48	6,1	56	7	240	24
" III	42	6,8	260	34	78	32	1063	102	1143	110	300	2
Hinge sø	5	1,0	34	17	4	3	87	3,5	66	2	270	54
Alling sø	5	1,2	43	13	2	10	194	6,7	415	11	270****	5
Tange sø I	43	16,5	316	135	483	28	1721	111	1388	89	440	1
" II	36	12,5	197	85	409	5	1821	108	404	24	390	9
Hald sø	~ 0	~ 0	-	5	-	~ 0	43	5,5	13	1	200	536
Vedsø	6	2,1	53	18	-	5	75	9,8	58	7	230	29
Nørresø	3	0,4	25	9	53	2	33	2,9	37	3	230	274
Søndersø	3	0,4	20	~ 0	58	2	47	5,6	35	3	280	146

*) Brutto = ophobning + denitrifikation.

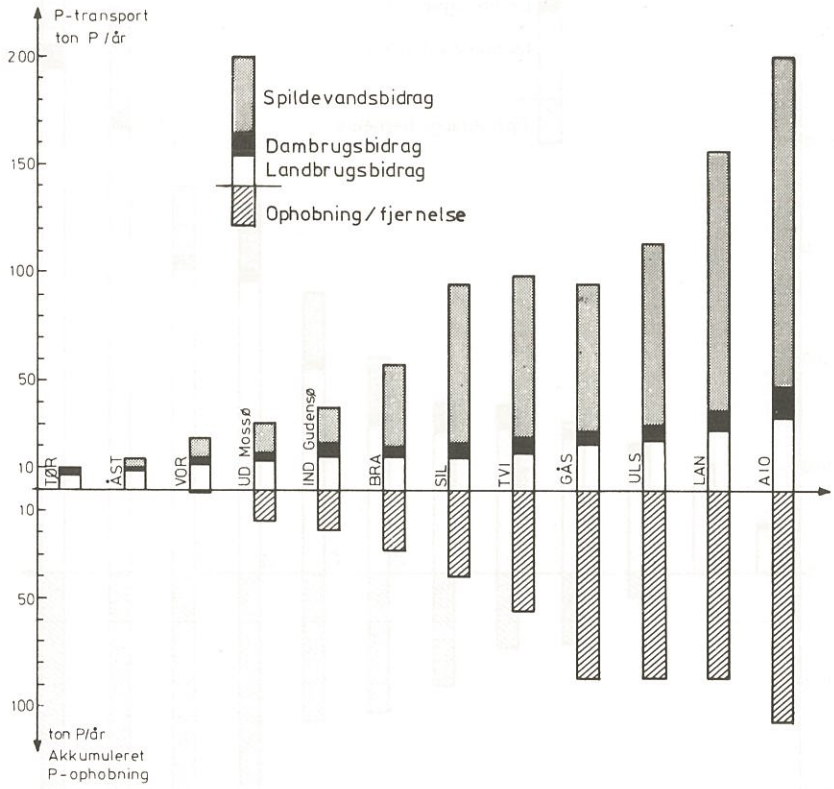
**) Eksklusiv Gudenåen.

***) Overfladebelastning af Storesø.

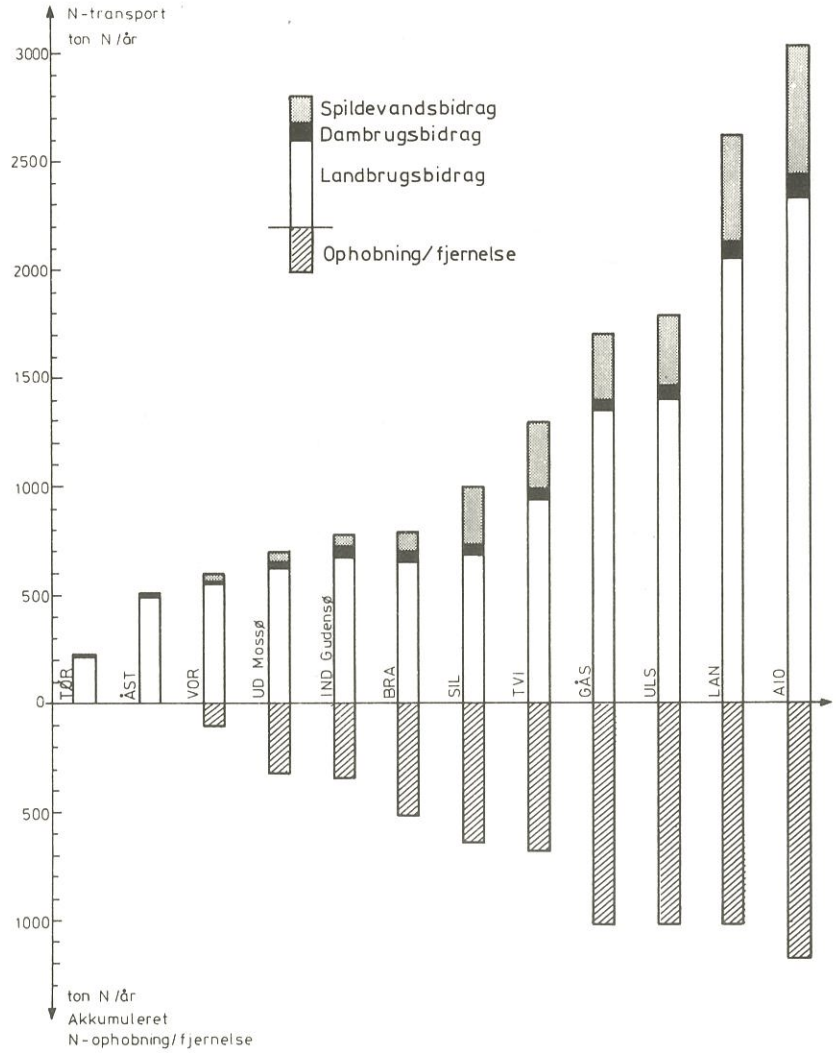
****) Skønnet værdi, anvendt ved beregningerne.

*****) Den hydrauliske belastning fra Gudenåløbet gennem søens vestende er medregnet. Den hydrauliske opholdstid i Østbassinet er ca. 2½ år.

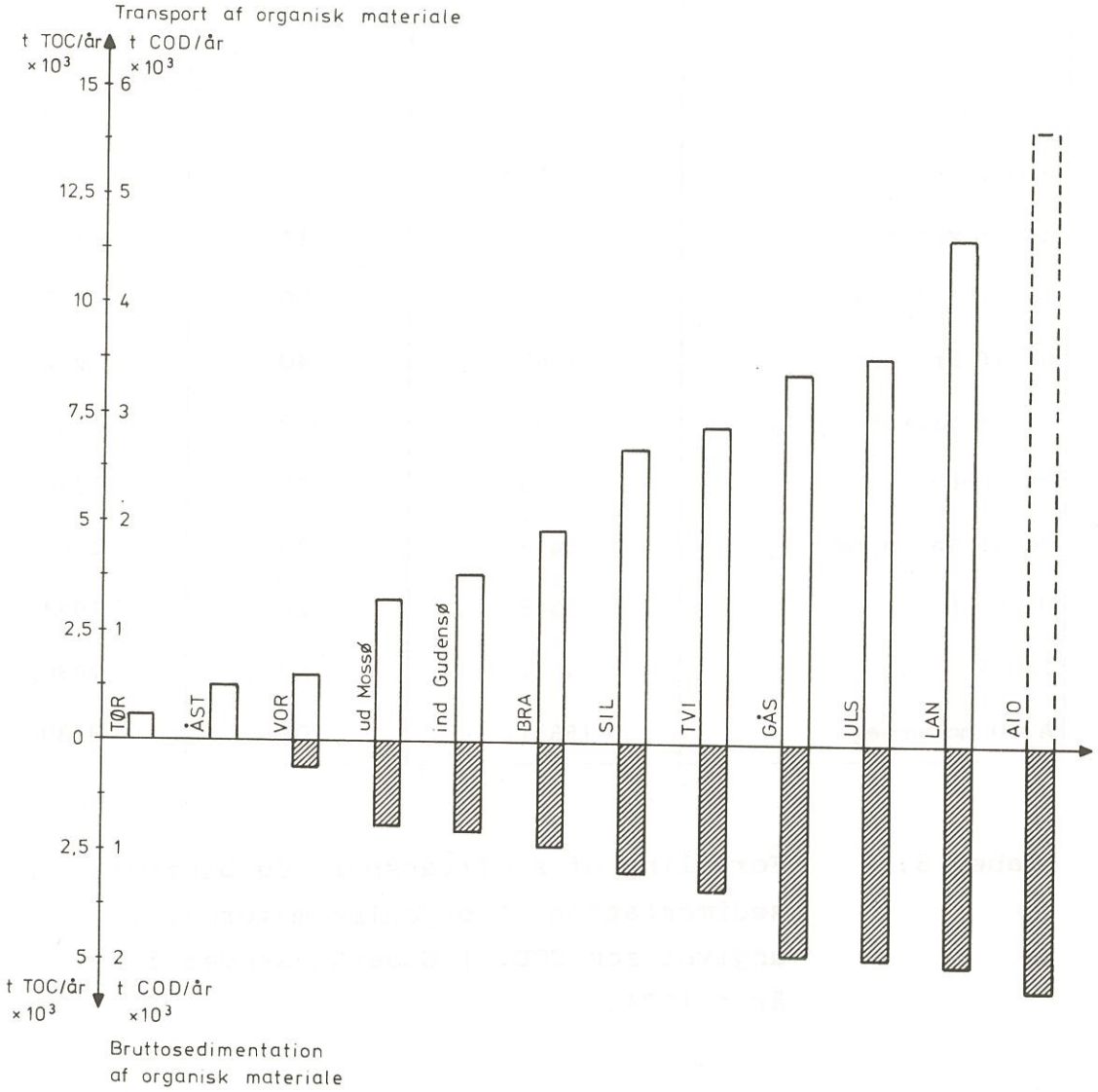
Tabel 5.11 Beregnede stofomsætninger i Gudenåsystemets søer 1974 samt supplerende data til belysning af disses størrelse.



Figur 5.6 Fordeling af stoftransport og ophobning af fosfor i Gudenåsystemet for år 1974. De under aksen liggende søjler er den i systemet akkumulerede mængde.



Figur 5.7 Fordeling af stoftransport og fjernelse/ophobning af kvælstof i Gudenåsystemet for år 1974. De under aksen liggende søjler er den akkumulerede mængde.



Figur 5.8 Fordeling af stoftransport og bruttosedimentation af organisk materiale i Gudenåsystemet for år 1974. Søjlerne under aksen repræsenterer sedimenteret og omsat materiale.

	Totaltransport ton COD	Bruttosedimentation ton COD	Σ Bruttosedimentation ton COD
Tørring	231	0	0
Åstedbro	505	0	0
Voervadsbro	612	258	250
Ud af Mossø	1314	514	772
Ind i Gudensø	1571	50	822
Ud af Brassø	1942	140	962
Ud af Silkeborg langsø	2696	239	1201
Tvilumbro	2896	145	1346
Ud af Tange sø	3414	595	1941
Ulstrup	3548	30	1973
Langå	4637	57	2030
A 10 motorvej	(5637)	209	2239

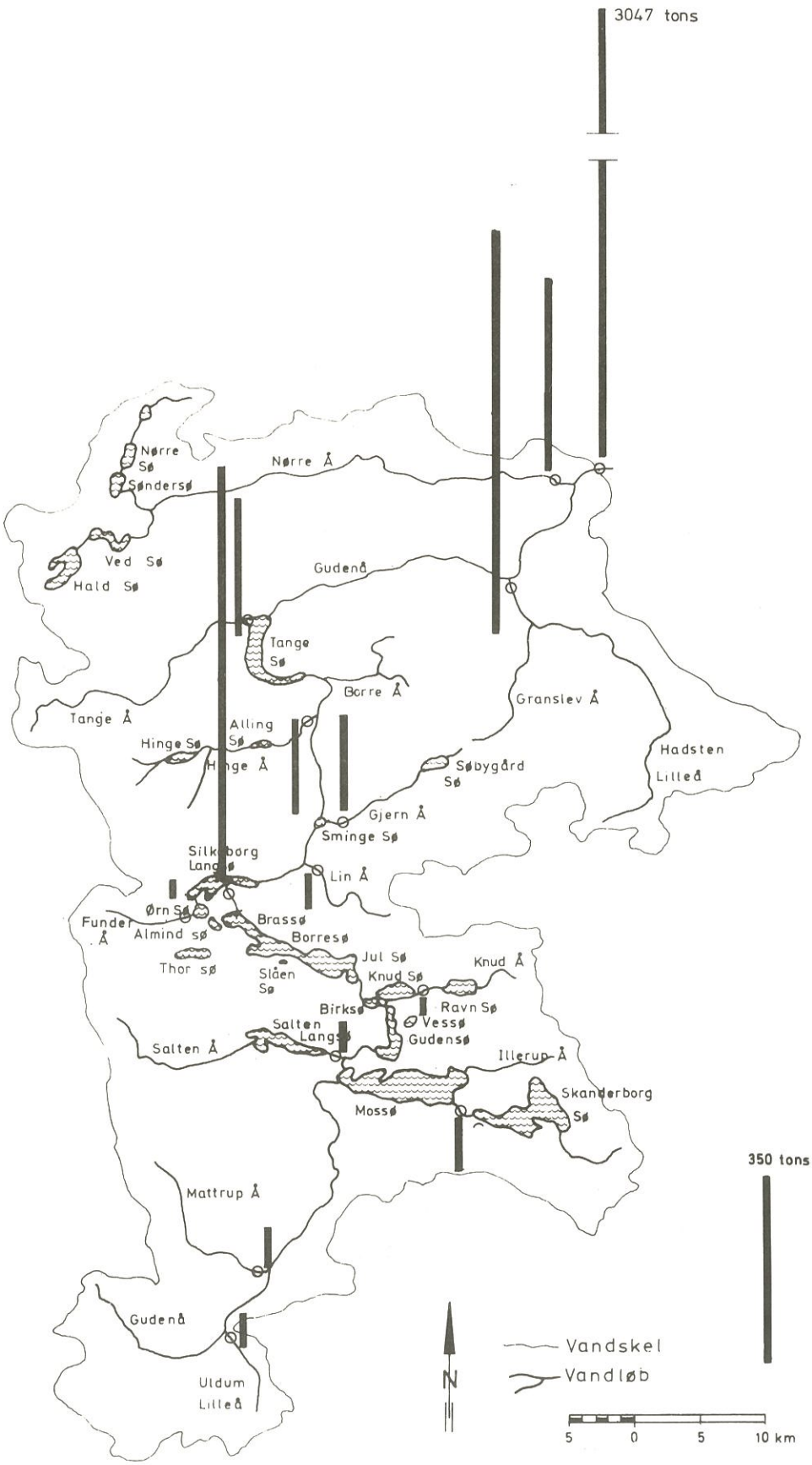
Tabel 5.12 Fordeling af stoftransport og bruttosedimentation af organisk materiale, angivet som COD, i Gudenåsystemet for året 1974.

For Gudenåoplandets større sidetilløb er stoftransporten for 1974 angivet i tabel 5.13.

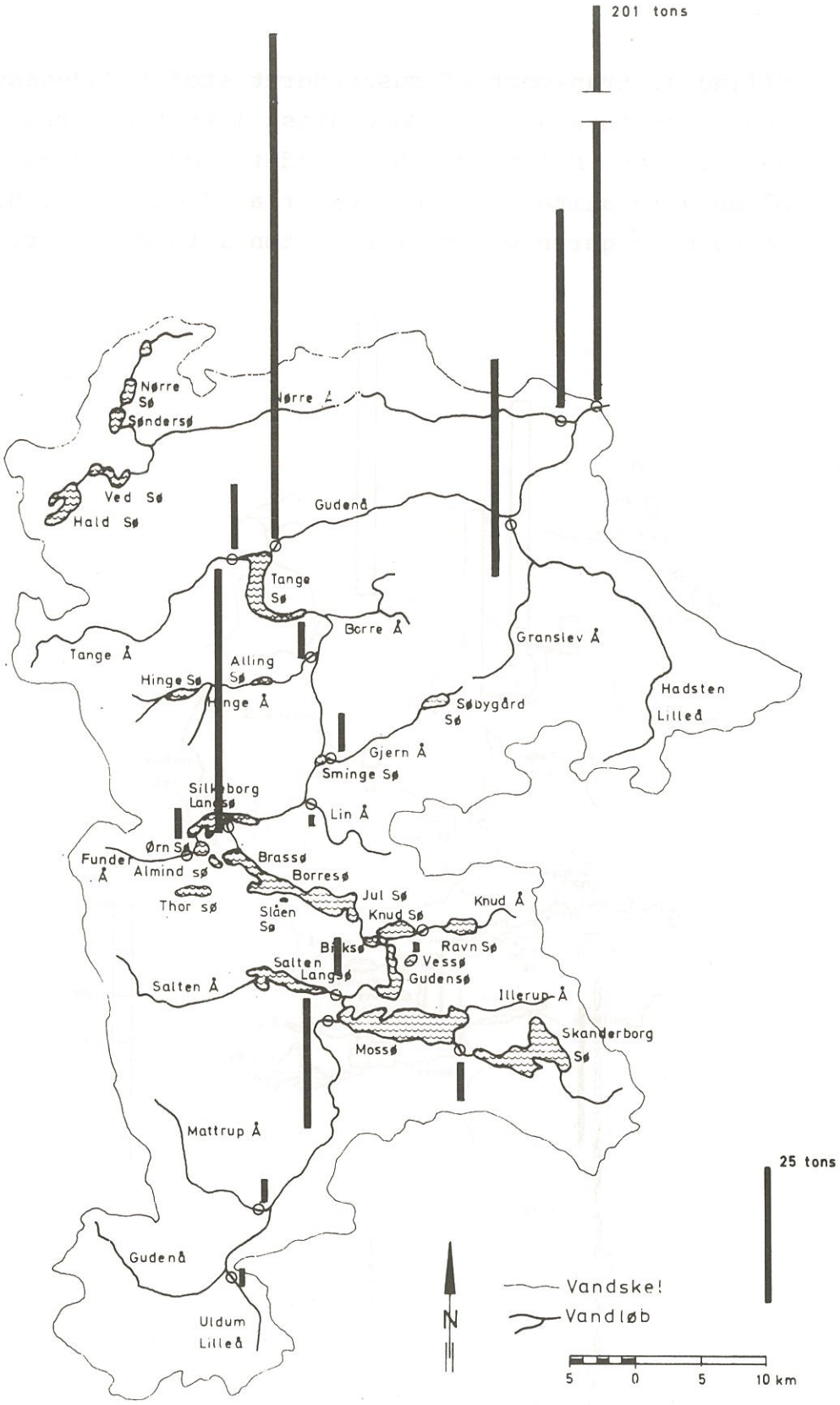
Det ses af tabel 5.13 at Hadsten lilleå og Nørreå har den største stoftransport af de undersøgte sidetilløb. Tange å, Funder å, Tåning å, Gjern å, Hinge å og Salten å kan placeres som mellemstore "stofleverandører" til Gudenåhovedløbet. Af de resterende målte sidetilløb kan specielt peges på Linå, hvor stoftransportundersøgelserne vedrørende kvælstof- og fosforfraktioner viste tydelig udledning af ajle og møddingvand. Transporterne er illustreret på figurene 5.9 og 5.10.

	LANDBRUG		DAMBRUG		SPILDEVAND		TOTAL	
	N TON	P TON	N TON	P TON	N TON	P TON	N TON	P TON
ULDUM LILLEÅ	57,3	1,5	-	-	5,2	1,4	62,5	2,9
MATTRUP Å	52,8	1,6	12,5	2,1	2,2	0,6	67,5	4,3
TÅNING Å	73,5	1,1	0,3	-	28,6	6,3	102,4	7,4
SALTEN Å	26,3	1,5	22,7	2,6	5,0	1,5	54,0	5,6
KNUD Å V/RAVNSØ	(40,5)	(0,7)	-	-	(1,1)	(0,3)	(41,6)	(1,0)
FUNDER Å	26,4	0,9	34,5	4,3	12,3	4,6	73,2	9,8
LINÅ	57,0	0,7	1,3	0,3	3,3	0,4	60,5	1,4
GJERN Å	134,6	2,3	0,7	0,2	42,1	5,2	177,4	7,7
HINGE Å	172,2	2,6	7,2	1,0	6,9	2,2	186,3	5,8
TANGE Å	218,0	3,8	0,7	0,2	31,2	7,9	249,9	11,9
HADSTEN LILLEÅ	584,0	4,4	22,6	2,9	155,0	34,1	761,5	41,4
NØRRE Å	254,0	5,0	32,0	4,6	98,2	30,3	384,0	39,9

Tabel 5.13 Større sidetilløbs stoftransport, 1974.

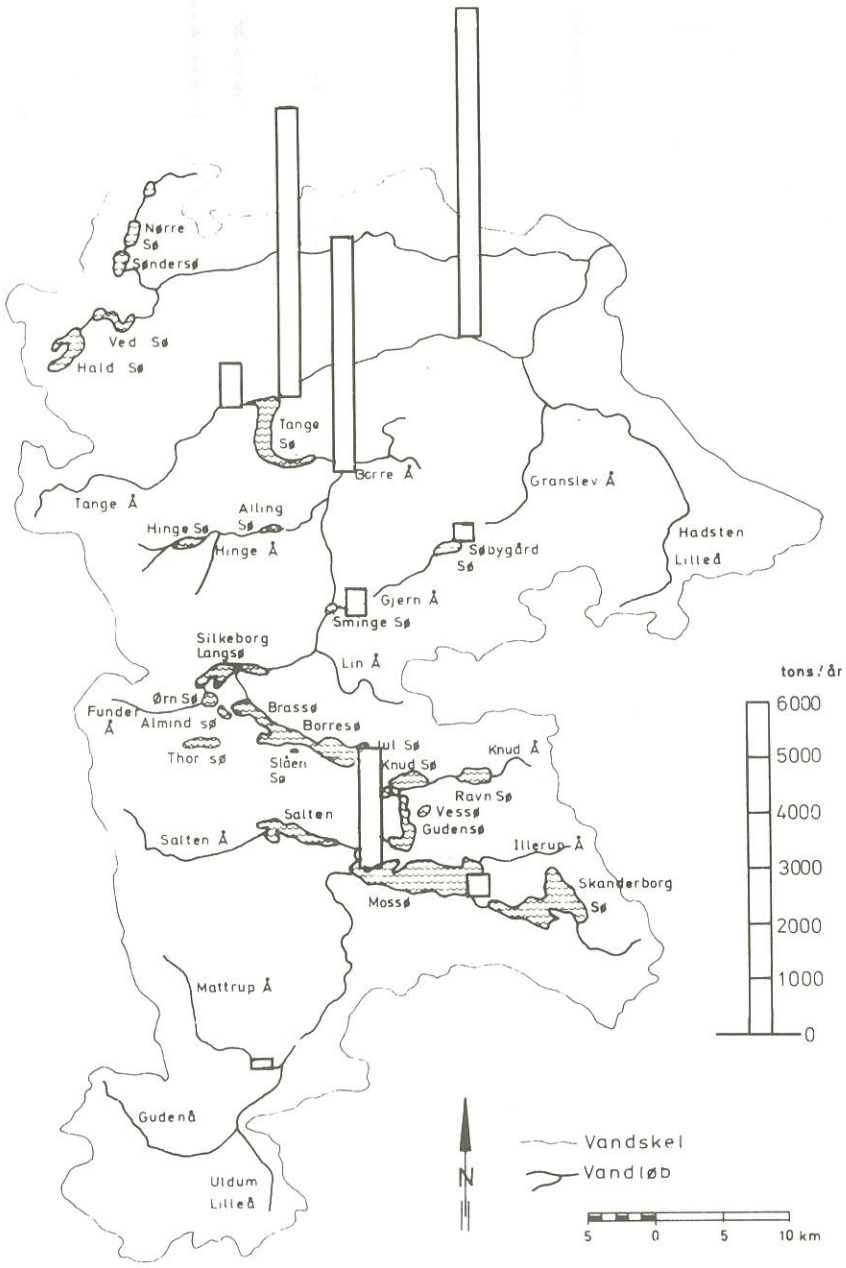


Figur 5.9 Årstransporter (1974) af total-kvælstof i tons/år ved vigtige sidetilløb til Gudenåen samt i nogle hovedstationer på selve Gudenåen.



Figur 5.10 Årstransporter (1974) af total-fosfor i tons/år ved vigtige sidetilløb til Gudenåen samt i nogle hovedstationer på selve Gudenåen.

Måling af transport af suspenderet stof i Gudenåsystemet er foretaget af Geografisk Institut, Århus Universitet. Målingerne har fundet sted regelmæssigt på de 9 lokaliteter, som fremgår af figur 5.11. Søjlerne på figuren viser transporten i tons pr. år.



Figur 5.11 Transport af suspenderet stof i udvalgte stationer i Gudenåsystemet i 1974 /24/.

6. GUDENÅSYSTEMET - SYSTEMOPBYGNING

6.1 GENERELT

Gudenåsystemet kan principielt betragtes som et netværk af strenge (vandløb) og reaktionsbassiner (søer), hvor der i begge grupper sker omsætninger og reaktioner. Udefra tilføres en række stoffer - enten fra enkeltpunkter, f.eks. udledning fra kloaksystemer, eller over længere strækninger, f.eks. diffus landbrugstilstrømning, jf. figur 6.1.

Det, der sker i netværket, er styret af en række funktioner og processer, som bl.a. er tids- og stedsafhængige.

For at få et samlet overblik over belastningen af Gudenåsystemets vandløb og søer er der opstillet:

1) et overordnet stoftransportnetværk,

som redegør for stoftilførsler til systemet i perioden 1975 - 2000 på årsbasis, under hensyntagen til eventuelle rensningsindgreb og den effekt, stofudledningen har på stoftransporten gennem systemet.

For at beskrive omsætningsforholdene i vandløb og søer er der opstillet:

2) en række vandløbsmodeller,

som kan vurdere iltforholdene under hensyntagen til omsætningen af organisk stof samt plantevækstens betydning for iltforholdene,

3) en sømodel for lavvandede søer, der kan simulere algevæksten som funktion af næringsstoftilførslerne.

6.2 STOFTRANSPORTMODELLER

Principopbygningen i stoftransportmodellen er netværket vist i figur 6.1.

Stofkilderne i netværket er:

Kloaksystemer (> 200 PE. 74 stk. i alt)

Dambrug

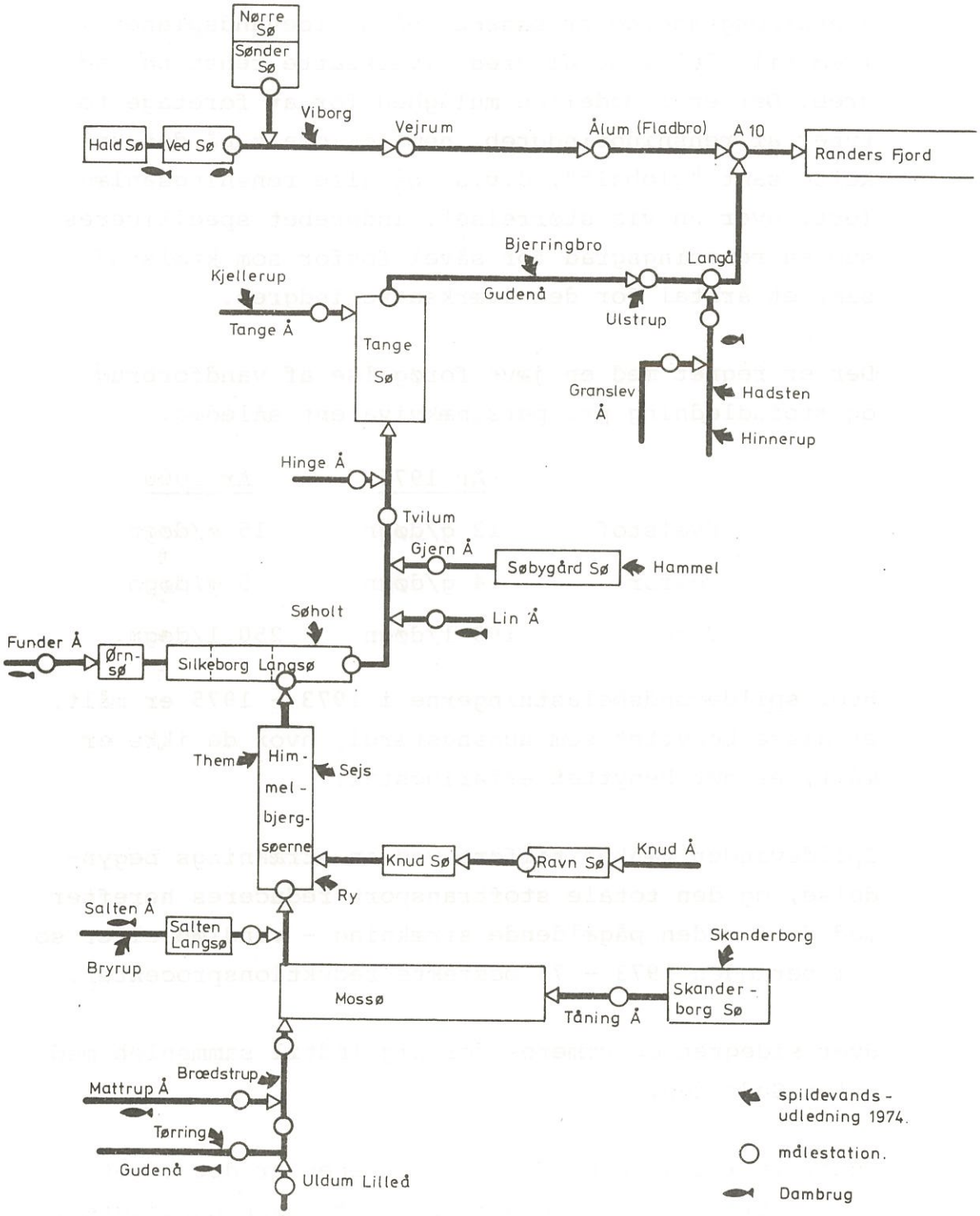
Landbrug.

Beregningerne er gennemført for total-fosfor og total-kvælstof, endvidere er de enkelte rensningsanlægs vandmængde sat i forhold til vandføringen i recipienten ved nærmeste hovedstation. Der er tale om forholdsvis ukomplicerede summations- og forholdsregninger. På grund af det store regnearbejde ved beregning af udviklingen frem til år 2000 samt antallet af kombinationsmuligheder er der benyttet EDB.

Modellen er kalibreret på grundlag af stoftransportmålingerne for 1973-75.

Såvel bidraget fra landbruget samt bidraget fra dambrugene er holdt konstant på 1975-værdien indtil år 2000. Dette afspejler den antagelse, at der ikke er mulighed for regulering af disse bidrag i den nærmeste fremtid.

Spildevandstilledningerne er beregnet ud fra den pr. februar 1976 skønnede fremtidige befolkningsudvikling 1975 - 2000 med tillæg på 10 % for eventuel ikke kendt industriudvikling. Der er anvendt lineær interpolation i perioderne 1975 - 1980 og 1980 - 2000.



Figur 6.1 Princip for opbygningen af stoftransportmodel for Gudenåsystemet.

Rensningsgraderne er baseret på spildevandsplaner frem til 1980 samt allerede iværksatte rensningsindgreb. Der er i modellen mulighed for at foretage to typer af rensningsindgreb, nemlig lokalt på det enkelte samt "globalt", d.v.s. på alle rensningsanlæg (evt. over en vis størrelse). Indgrebet specificeres som en rensningsgrad for såvel fosfor som kvælstof samt et årstal for det iværksatte indgreb.

Der er regnet med en jævn forøgelse af vandforbrug og stofudledning pr. personækvivalent således:

	År 1975	År 2000
Kvælstof	12 g/døgn	15 g/døgn
Fosfor	4 g/døgn	5 g/døgn
Vand	190 l/døgn	250 l/døgn.

Hvor spildevandsbelastningerne i 1973 - 1975 er målt, er disse benyttet som udgangsværdi, hvor de ikke er målt, er der benyttet erfaringstal.

Spildevandet tænkes tilført ved en stræknings begyndelse, og den totale stoftransport reduceres herefter med de for den pågældende strækning - vandløb eller sø - i perioden 1973 - 75 bestemte reduktionsprocenter.

Hver sidegren opsummeres for sig indtil sammenløb med selve Gudenåen.

Specielt i Skanderborg - Mossø grenen er der taget hensyn til en forsinkende effekt af rensningsindgreb, idet der her er registreret en relativ lang opholdstid for såvel vand som næringsstoffer, jf. afsnit 4. For Hald sø, Knud sø og Ravn søs vedkommende er opholdstiden på niveau med Skanderborg sø og Mossø, men da belastningerne fra disse er små i forhold til de øvrige kilder, og da der ikke sker indgreb opstrøms

disse søer, indgår de i det konstante "landbrugsbidrag" uden forsinkelse. For at få et overblik over, hvor meget det enkelte rensningsanlæg belaster recipienten, er der udregnet recipientindex for hvert rensningsanlæg i forhold til nærmeste hovedstation.

DATA, INPUT, OUTPUT

Input består for strækningernes vedkommende af:

Navn, landbrugsbelastning, dambrugsbelastning, antal rensningsanlæg på strækningen samt reduktioner og vandføring på strækningen.

For de enkelte rensningsanlæg består input af nummer på rensningsanlægget samt antallet af personer 1974, 1980 og 2000, standardrensningsreduktion samt årstal og reduktion ved eventuelle indgreb.

Der er regnet med følgende standardreduktioner:

Rensning	Standardreduktion	
	Kvælstof	Fosfor
Mekanisk	0,2	0,1
Mekanisk - biologisk	0,3	0,3
Mekanisk - kemisk	0,3	0,85
Mekanisk - biologisk + fjernelse af fosfor	0,35	0,9
Mekanisk-biologisk-denitrifikation-fosforfjernelse	0,85	0,9

Outputtet består af en tabel med stoftransporter, stammende fra landbrug, dambrug og spildevand fra år 1975 - 1999, samt den procentvise fordeling for såvel fosfor som kvælstof.

Desuden er der for hvert rensningsanlæg beregnet PE-tal, vandmængde (m^3/døgn) samt fosfor- og kvælstof-belastninger i ton/år.

Endvidere er der beregnet recipientindices i forhold til nærmeste hovedstation:

$$\frac{(Q_{min,rec})}{Q_{spv}}, \quad \frac{(Q_{middel,\ rec})}{Q_{spv}}, \quad \frac{\text{transport recipient}}{\text{transport rensningsanlæg}}$$

I afsnit 7 er stoftransportmodellen benyttet til at angive belastningsforhold ved en række alternative rensningsforanstaltninger i Gudenåens opland.

Stoftransportmodellen kan desuden benyttes til at beregne tilledningerne til systemets lavvandede søer som funktion af rensningsindgreb. Disse tilledninger kan benyttes i modelberegningerne for de lavvandede søer, idet belastningen fordeles over året, jf. afsnit 6.4.

6.3 VANDLØBSMODELLER

Anvendelse af vandløbsmodeller til fastsættelse af udlederkravværdier for organisk stof startede i 1920 med opstilling af den klassiske Streeter - Phelps ligning for iltbalancen i et vandløb, som tog hensyn til omsætningen af organisk stof og genluftningen. Denne iltbalanceligning er blevet udvidet, således at flere biologiske og kemiske processer medtages.

Ved Gudenåundersøgelsen er anvendt en generel vandløbsmodel, udviklet af Dahl-Madsen og Simonsen / 8 /, som er tilpasset Gudenåens hovedløb samt visse af sidetilløbene:

Gudenåen fra Tørring til Mossø

Gudenåen fra Silkeborg til Tange sø

Gudenåen fra Tange sø til Åbro

Mattrup å

Salten å

Tange å

Hadsten lilleå

Nørreå

ANALYSE AF ET VANDLØBSSYSTEM.

Udgangspunktet for en opstilling af en vandløbsmodel er en analyse af vandløbet og en definition af vandløbets komponenter. I det følgende gennemgås en sådan analyse.

Tilstandsvariabler

Variabler, der beskriver vandløbets tilstand (vandløbskvalitet) og som indgår i vandløbsmodellen er:

Koncentration af organisk stof (BI_5)

Opløst ilt

Ammoniakkvælstof

Nitratkvælstof

Nitritkvælstof

Temperatur.

Processer

Biologiske/kemiske processer, der forekommer i vandløbet, og som beskrives i vandløbsmodellen er:

Planternes fotosyntese og respiration

Nedbrydning af organisk stof

Nitrifikation

Genluftning

Sedimentation/resuspension.

Hver af disse processer er beskrevet ved et matematisk udtryk, hvor der indgår såkaldte parametre. For en detailredegørelse, se / 8 /. En række af processerne er regnet temperaturafhængige efter et modificeret Arrhenius udtryk.

Tvangsfunktioner

Funktioner eller kræfter, der påvirker vandløbets processer uden selv at påvirkes (non feed-back processer) er:

Vandføring og transporttid

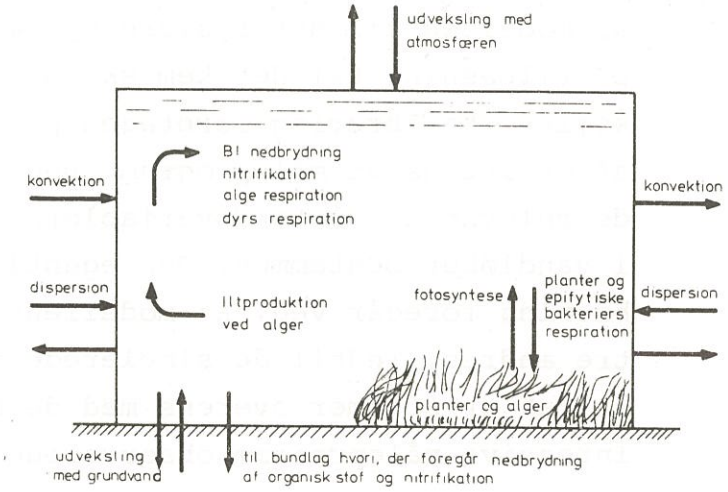
Lysintensitet ved vandoverfladen

Tilledninger af organisk stof og NH_3-N fra bysamfund og fra landbrug.

Modelopstillingen er foretaget for de for iltforholdene ekstreme situationer. D.v.s. hvor tvangsfunktionerne og temperaturen har størst ugunstig effekt: Lille vandføring, høj lysintensitet, maximal spildevandsbelastning og høj temperatur.

Massebalance

I visuel form kan tilstandsvariabler, processer og tvangsfunktioner præsenteres som i figur 6.2.



Figur 6.2 Iltinfluerende processer i vandløb. Pilene viser iltstrømme.

I matematisk form består vandløbsmoddellen af et sæt samhørende ligninger af formen:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -\frac{1}{A(x,t)} \frac{\partial}{\partial x} (Q(x,t) \cdot C) + \frac{\partial}{\partial x} (D_L \cdot \frac{\partial C}{\partial x}) + \Sigma s(x,t)$$

hvor:

C	er koncentration af en tilstandsvariabel
$A(x,t)$	er vandløbsstrækningens tværsnitareal
$Q(x,t)$	er vandføringen
D_L	er den longitudinale dispersionskoefficient
s	er kilder og dræn og reaktioner
x	er længdekoordinat
t	er tiden.

Anvendelse af modellen foregår i flere etaper, nemlig:

1. Kalibrering af modellen. D.v.s. tilpasning af modellen til det fysiske system og derpå tilpasning til det kemiske system. Den kemiske kalibrering foretages på grundlag af et intensivt måleprogram, under hvilket de relevante tilstandsvariablers variation i vandløbet bestemmes. Den egentlige kalibrering foregår ved, at modellens parametre ændres, indtil de simulerede tilstandsvariabler stemmer overens med de under det intensive måleprogram observerede værdier.

   Efter en sådan kalibrering kan modellen simulere en del af de aktuelle kemiske forhold i vandløbet.

2. Specifikation af alternative belastninger og/eller vandløbspleje (f.eks. mere intensiv grødefjernelse). Introduktion af alternative "driftsforhold for vandløbet" i modellen.

3. Simulering af vandløbets tilstand under de ændrede forhold. Dette kan foregå under forudsætning af, at de ved kalibreringen bestemte parametre ikke ændres signifikant. Eller efter nærmere specificerede ændringer af de bestemte parametre.

En nøjere beskrivelse af ovenstående procedure findes i / 8 /.

De intensive undersøgelser og disses resultater er behandlet i rapporterne:

Nørreå - intensive undersøgelser /51/

Salten å - intensive undersøgelser /50/

Gudenå - intensive undersøgelser /51/.

I tabel 6.1 angives intervaller for de ved undersøgelserne bestemte parametre.

Strækning	Genluftnings-konstant ved 20° C K_2 $døgn^{-1}$	Nedbrydnings-konstant for BI_5 ved 20°C K_1 $døgn^{-1}$	Total produktion P $g\ O_2/m^2/d$	Total respiration ved 20° C R $g\ O_2/m^2/d$
Gudenå				
Tørring - Bredvad mølle	2,0 - 6,1	0,5 - 6,0	3,9 - 17,6	1,7 - 29,9
Vestbirk sø - Klosterkær	2,4 - 2,8	0,5 - 0,75	11,8 - 27,7	7,9 - 19,2
Resenbro - Kongensbro	0,4 - 3,4	0,25 - 2,0	3,8 - 22,5	3,9 - 26,4
Tange sø - Langå	0,7 - 1,5	0,25 - 1,75	2,0 - 25,9	3,0 - 29,6
Mattrup å	1,0 - 9,7	0,5 - 2,0	1,0 - 17,8	9,6 - 46,7
Hadsten lilleå	2,9 - 4,2	1,7 - 6,9	3,9 - 13,0	12,3 - 21,3
Tange å	5,1 - 15,9	0,25 - 2,0	1,1 - 4,0	0,5 - 8,0
Nørreå	0,4 - 3,8	0,75 - 1,7	0 - 8,2	4,0 - 17,1

Tabel 6.1 Intervaller for vandløbsparametre for de undersøgte vandløbsstrækninger.

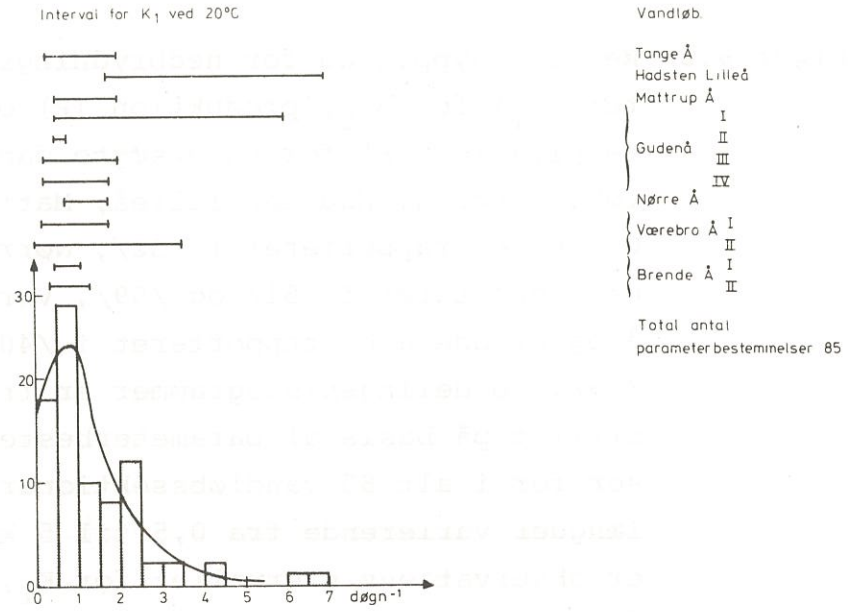
I figur 6.3 er de i Gudenåsystemet bestemte parametre sammenlignet med parametre for andre danske vandløb, som ligeledes er behandlet med modellen.

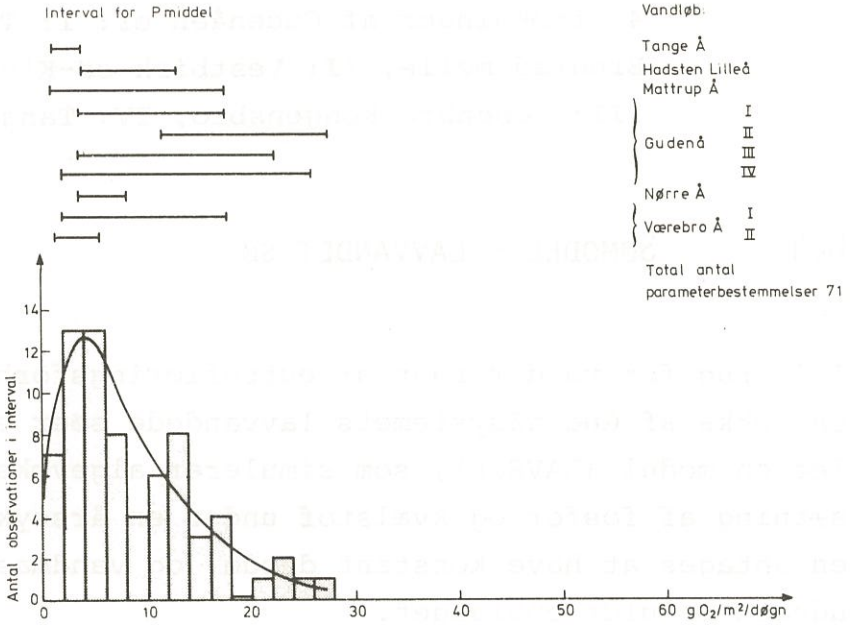
Den hastighed, hvormed organisk stof omsættes i vandløb, er i figur 6.3 symboliseret med K_1 ved 20° C. I Gudenåsystemet er der især to strækninger, som er karakteriseret ved høje K_1-værdier, nemlig visse dele af Hadsten lilleå og visse dele af strækningen fra Tørring til Bredvad mølle. Disse vandløbsstrækninger modtager spildevand med indhold af let nedbrydeligt organisk stof. De øvrige strækninger i Gudenåsystemet adskiller sig ikke fra de øvrige undersøgte strækninger af danske vandløb med hensyn til K_1-værdier.

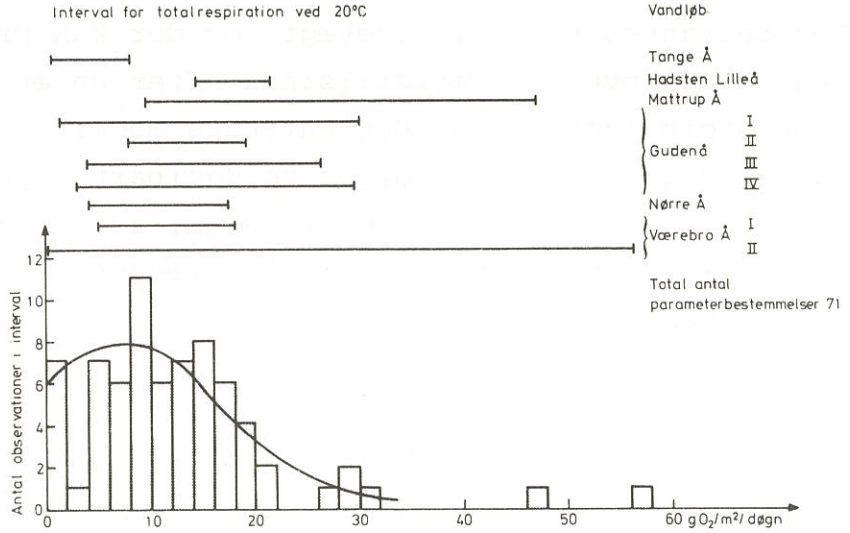
Planternes produktion af ilt (P-middel) varierer øjensynligt en del for de forskellige strækninger samt inden for hver delstrækning. På strækningerne fra Vestbirk sø til Klosterkær og fra Tange sø til Åbro er der fundet meget høje produktionsværdier. Tange å og Nørreå har lav produktion af ilt. For alle strækninger gælder ligesom for mange andre danske vandløb, at planternes produktion har en stor betydning for iltforholdene i dagtimerne.

Totalrespirationen ved 20° C varierer øjensynligt mere end nogen af de andre parametre, der er vist i figuren. På strækninger, hvor en høj totalrespiration findes, er der ofte betydelige slammængder på bunden, f.eks. lige efter dambrug eller udledninger af utilstrækkeligt renset spildevand. Også andre iltforbrugende processer (f.eks. nitrifikation) vil, når de optræder, øge totalrespirationen.

Anvendelse af vandløbsmodellen til alternativ- og konsekvensberegninger er i Gudenåsystemet udført for Hadsten lilleå, Nørreå og Tange å, og resultaterne heraf er behandlet i afsnit 7.







Figur 6.3 Figurteksten er anført på næste side.

Figur 6.3 Relativ hyppighed for nedbrydningskonstanter (K_1) for BI_5, produktion (P) og totalrespiration (R) for undersøgte danske vandløb. Tange å, Hadsten lilleå, Mattrup å og Gudenå er rapporteret i /52/, Nørre å er rapporteret i /51/ og /59/, Værebro å og Brende å er rapporteret i /40/ og /39/. Fordelingshistogrammer er fremstillet på basis af parameterbestemmelser for i alt 85 vandløbssektioner af længder varierende fra 0,5 til 5 km. Desuden er observationsintervallet for K_1, P og R for de enkelte vandløbsstrækninger vist. De 4 strækninger af Gudenåen er: I: Tørring-Bredvad mølle, II: Vestbirk sø-Klosterkær, III: Resenbro-Kongensbro, IV: Tange sø-Åbro.

6.4 SØMODEL - LAVVANDET SØ

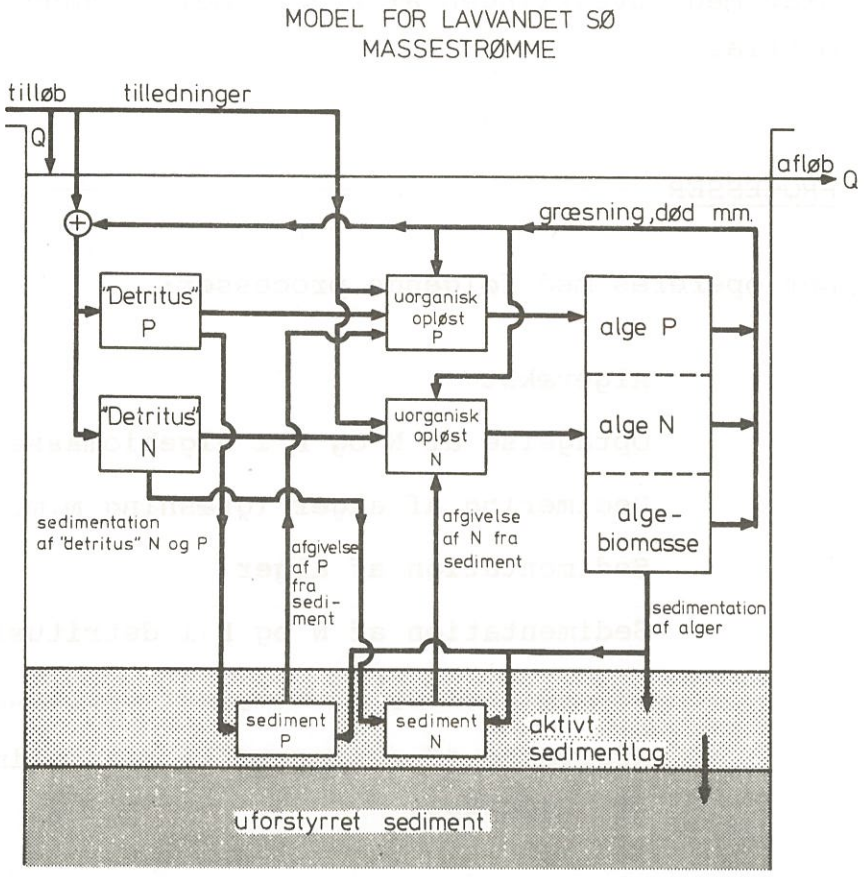
Til brug for vurderingen af eutrofieringsforholdene i en række af Gudenåsystemets lavvandede søer er opstillet en model (LAVSOE), som simulerer algevækst og omsætning af fosfor og kvælstof under en årscyklus. Søen antages at have konstant dybde, og vandmassen forudsættes fuldt opblandet.

Der betragtes en sø i ligevægt, og der kan prognosticeres om den nye ligevægtstilstand efter en ændring i næringsstofbelastningen. Den anvendte model kan ikke beskrive det transiente forløb umiddelbart efter et indgreb, og for at vurdere det tidsrum, der hengår, før en ny ligevægt er etableret, må anlægges supplerende betragtninger.

ANALYSE AF SØSYSTEM

Udgangspunktet for opstilling af en sømodel er en analyse af søsystemet og de massestrømme, der knytter sig

hertil. Figur 6.4 er et blokdiagram over massestrømmene i LAVSOE-modellen. Figuren illustrerer modellens tilstandsvariabler og relationerne mellem disse samt desuden stoftransporterne til og fra systemet.



Figur 6.4 Blokdiagram for LAVSOE-modellen.

TILSTANDSVARIABLER

Modellens tilstandsvariabler er:

- Algebiomasse
- Alge-P
- Alge-N
- Opløst uorganisk P (orthofosfat)
- Opløst uorganisk N

"Detritus-P"
"Detritus-N".

P og N i sedimentet optræder ikke som egentlige tilstandsvariabler,men der holdes ved massebalancen regnskab med udvekslingen af P og N mellem vand- og sedimentfase.

PROCESSER

Der opereres med følgende processer:

Algevækst

Optagelse af N og P i algebiomasse

Decimering af alger (græsning m.m.)

Sedimentation af alger

Sedimentation af N og P i detritusfase

Mineralisering af N og P i detritusfase

Afgivelse af næringssalte fra sedimentfase til vandfase.

For flere af processerne, f.eks. algevækst, har man et ret indgående kendskab til både reaktionskinetik, støkiometri og værdiintervaller for reaktionskonstanterne (parametrene). I andre tilfælde er den eksisterende viden imidlertid mangelfuld, og som en første tilnærmelse antages her ofte simpel 1. ordens kinetik, og parameterværdierne fastsættes skønsmæssigt.

Reaktionskomplekset styres af en række udefra kommende påvirkninger (tvangsfunktioner), som ikke ændres gennem de interne processer i søen.

TVANGSFUNKTIONER

Tvangsfunktionerne i LAVSOE-modellen er:

Lysindstråling

Temperatur

N- og P-tilledninger

Vandgennemstrømning.

Hensigten med modellen er kun at beskrive grove, gennemsnitlige forløb for tilstandsvariablerne over længere tidsperioder, og tvangsfunktionernes variation beskrives derfor kun som udjævnede gennemsnitsværdier på f.eks. månedsbasis.

MASSEBALANCER

Selve modellen er en sammenstilling af differentielle massebalancer for systemet af tilstandsvariabler. En massebalance for tilstandsvariabel nr. i kan eksempelvis gengives således:

$$\frac{dC_i}{dt} = TIL_i + \sum_{j=1}^{j=n} r_{i,j} - D \cdot C_i$$

hvor:

C_i er koncentrationen af den pågældende komponent (g/m^3).

TIL_i er tilførselshastigheden pr. volumenenhed fra eksterne kilder ($g/m^3/dg$).

$\sum_{j=1}^{j=n} r_{i,j}$ er summen af reaktionshastighederne for interne processer, hvori komponent i indgår ($g/m^3/dg$).

D er den hydrauliske fortyndingshastighed, udtrykt som søens afløb pr. tidsenhed (dg^{-1}).

Modellen udgøres således af et sæt samhørende 1. ordens ordinære differentialligninger. Ligningssystemet er ulineært og desuden ret kompliceret, bl.a. fordi beskrivelsen af algevæksten er forholdsvis detailleret. Differentialligningssystemet integreres numerisk på datamat.

Ud over integration af differentialligningerne for de nævnte tilstandsvariabler integreres de mest betydende massestrømme (f.eks. primærproduktion og transport af næringssalte ud og ind af søen samt mellem sediment- og vandfase), og der opstilles en N- og P-balance.

DATA, INPUT, OUTPUT

Der er forholdsvis stor fleksibilitet med hensyn til in- og output, således at programmet kan anvendes på data for forskellige søer, og programmet er desuden opbygget således, at søbassiner i serie kan behandles under eet.

Input til programmet er:

1. Morfometriske data

2. Tabeller, som gengiver årstidsvariation af
   a) temperatur
   b) solindstråling
   c) N- og P-tilledninger
   d) vandgennemstrømning

3. Lysekstinktionsparametre.

Ad 2 c Der skelnes her mellem følgende bidrag:

1. Tilledninger, som er konstante året igennem (spildevand)

2. Målte stoftransporter fra øvrige kilder

3. Estimerede bidrag fra diffuse kilder (bl.a. afstrømningen fra søens direkte opland samt nedbørsbidraget).

Der lægges vægt på at beskrive næringstilførslernes årstidsvariation så nøjagtigt som muligt - tilførslen i sommermånederne vil således ofte have langt større betydning end tilførslen i den kolde årstid.

Output fra programmet er:

1. Tabeller og kurver over årsvariation af
   a) primærproduktion
   b) algebiomasse
   c) sigtedybde
   d) N- og P-koncentrationer (total-N og -P samt fraktionerne:
      1) uorganisk, opløst
      2) "detritus"-N og -P
      3) alge-N og -P

2. Massebalance for søen

3. Integrerede stofstrømme på årsbasis, f.eks.
   a) total årlig primærproduktion
   b) total sedimentation af N og P
   c) total afgivelse af N og P fra sediment.

KALIBRERING

Til nøjagtig fastlæggelse af visse parametre kræves sammenligning af modelberegningerne med målte værdier for primærproduktion, algebiomasse - f.eks. målt som klorofyl-a - og næringssaltkoncentrationer. Det skal understreges, at der ikke er tale om simpel kurvetilpasning.Kalibreringen tjener til justering af modelberegningerne, og hvis massebalancen alene benyttes som datagrundlag, vil modellen i mange tilfælde med et sæt standardparametre kunne forudsige rimelige primærproduktioner og sigtedybder, hvis i øvrigt modellens forudsætninger bl.a. om total opblanding med tilnærmelse er opfyldt.

I Gudenåsystemet er modellen tilpasset følgende lavvandede søer:

Mossø (3 bassiner)

Salten langsø

Brassø (Himmelbjergsøerne)

Ørnsø

Silkeborg langsø (3 bassiner)

Tange sø (2 bassiner)

og i afsnit 7 er behandlet resultater og vurderinger af en række alternative belastningssituationer for de nævnte søer.

7. VURDERING AF FREMTIDIG BELASTNING OG TILSVARENDE RECIPIENTKVALITET

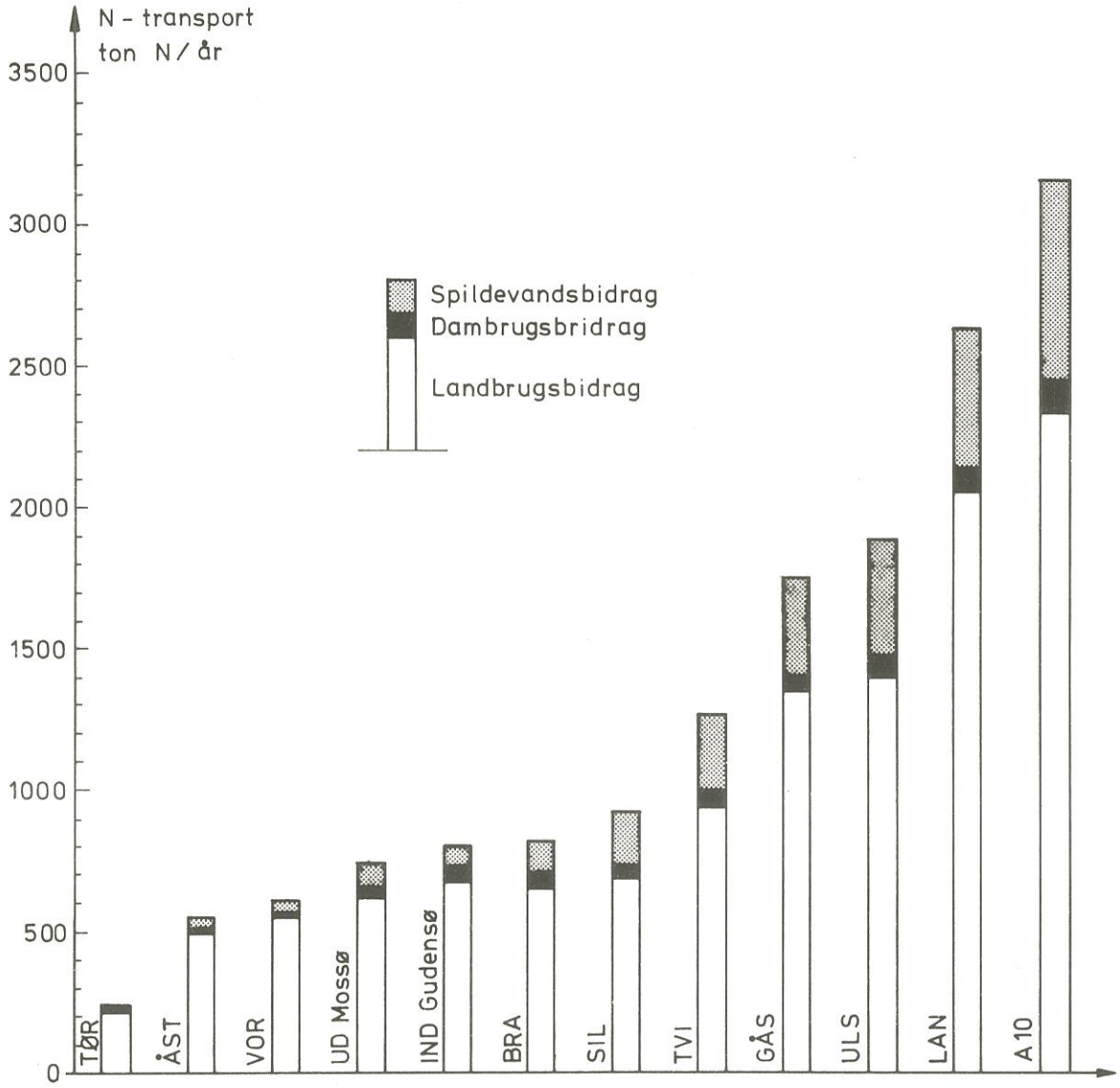
7.1 VURDERING AF FREMTIDIG BELASTNING

Ved hjælp af den i afsnit 6 beskrevne stoftransportmodel er de fremtidige stoftransporter for perioden 1975 til 1999 udregnet. Figur 7.1 - 7.4 viser søjlediagrammerne for 1985 og 1999, som modsvarer figur 5.6 - 5.7 over stoftransportfordelingen i 1974.

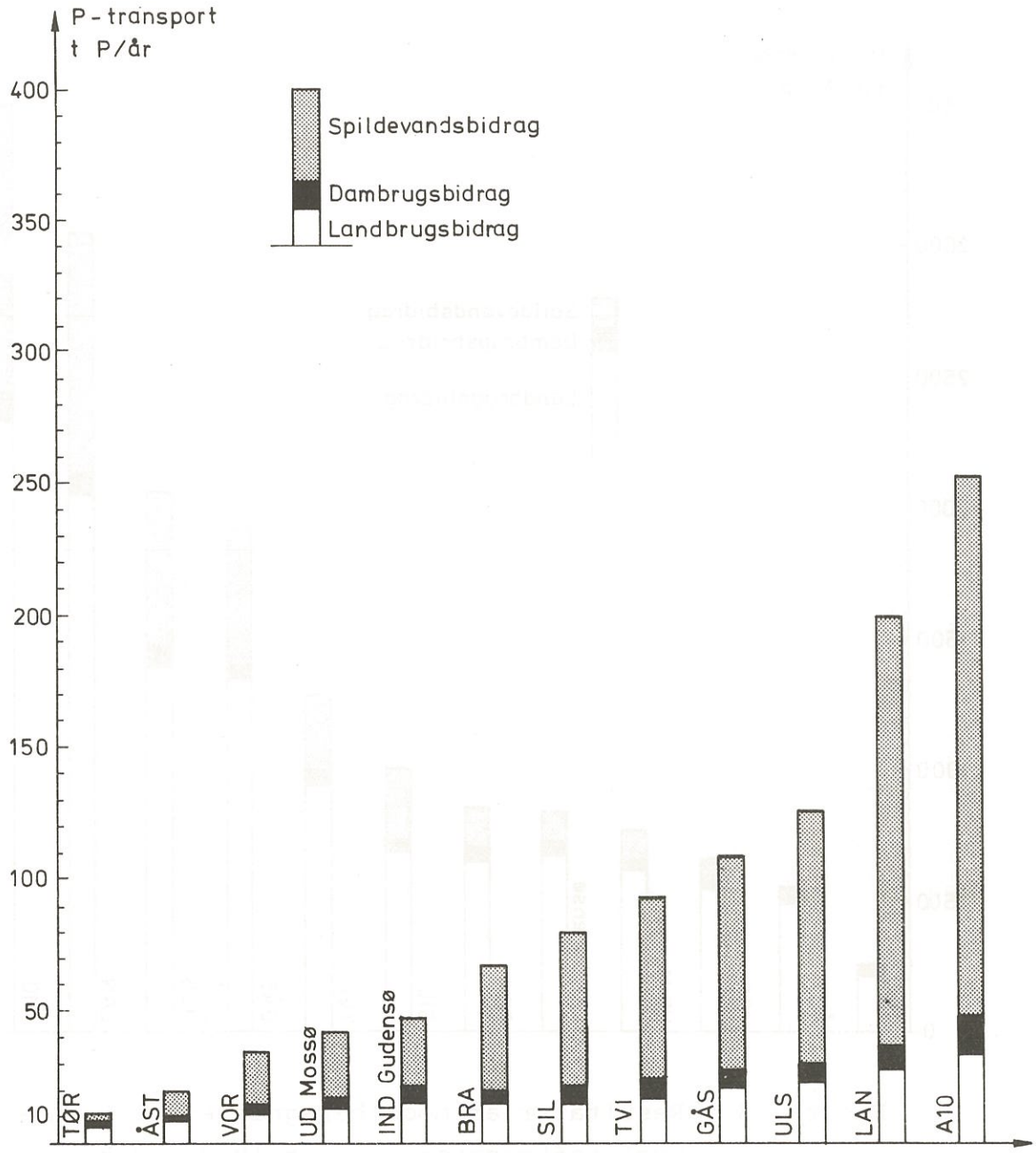
I beregningerne er der taget hensyn til de allerede iværksatte indgreb i Skanderborg og Silkeborg. Der er desuden regnet med et biologisk rensningsanlæg i drift i Hadsten. Det ses, at såvel procentandelen for dambrug som for landbrug reduceres i takt med det stigende bidrag fra spildevandet, dels på grund af befolkningsudviklingen og dels på grund af de stigende personbidrag.

Ved A 10 i Randers er stoftransporterne således i ton/år:

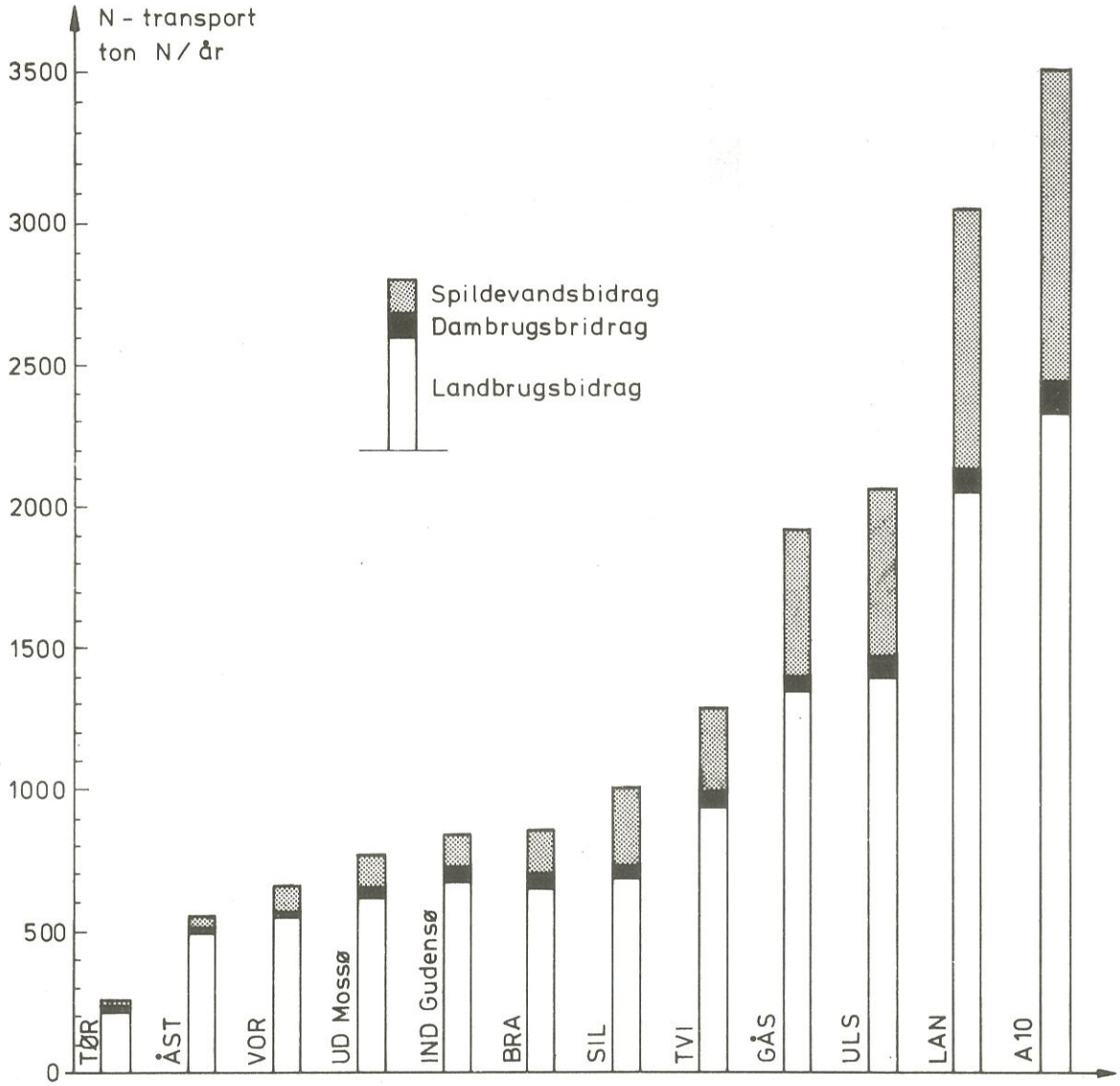
ÅR	Spildevand		Landbrug		Dambrug		Totalt	
	N	P	N	P	N	P	N	P
1974	593	153	2343	34	111	15	3047	202
1985	710	201	2343	34	111	15	3164	250
1999	1057	304	2343	34	111	15	3511	353



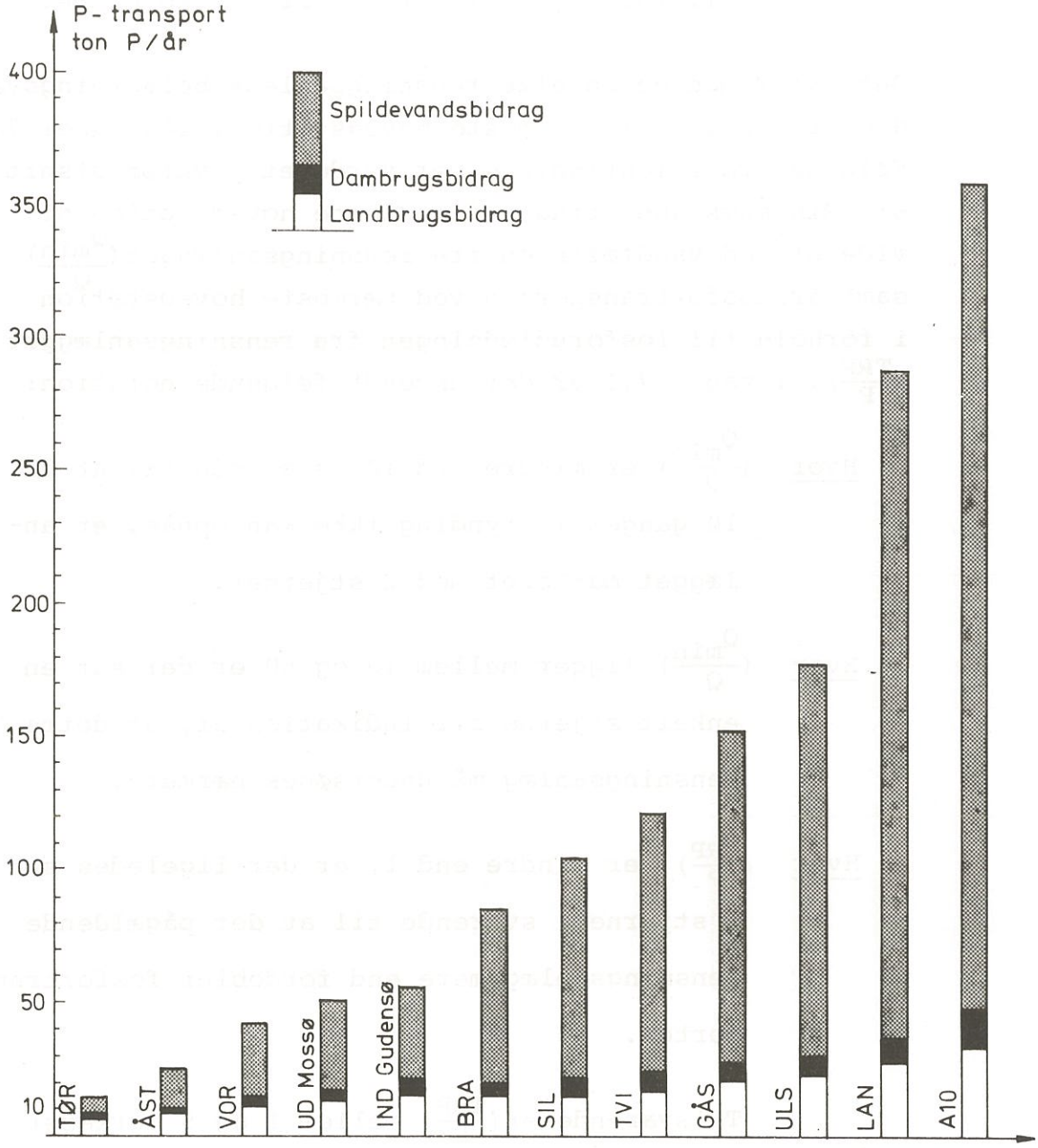
Figur 7.1 Resultater af modelberegninger af total-kvælstoftransporter i år 1985 ved hoved-stationer i Gudenåen.



Figur 7.2 Resultater af modelberegninger af total-fosfortransporter i år 1985 ved hovedstationer i Gudenåen.



Figur 7.3 Resultater af modelberegninger af total-kvælstoftransporter i år 1999 ved hoved-stationer i Gudenåen.



Figur 7.4 Resultater af modelberegninger af total-fosfortransporter i år 1999 ved hovedstationer i Gudenåen.

Den totale stoftransport ved A 10 stiger således 15 % for kvælstofs og 76 % for fosfors vedkommende.

Betragter man de enkelte rensningsanlægs belastningsværdier i forhold til nærmeste hovedstation, fås tabel 7.1. Følgende recipientindices er vurderet jævnfør afsnit 6: Minimumsvandføring ved nærmeste hovedstation divideret med vandføringen fra rensningsanlægget ($\frac{Q_{min}}{Q}$) samt årsfosfortransporten ved nærmeste hovedstation i forhold til fosforudledningen fra rensningsanlægget ($\frac{TRP}{P}$). I tabel 7.1 er der anvendt følgende notation:

<u>Hvor</u> ($\frac{Q_{min}}{Q}$) er mindre end 10, svarende til at en 10 ganges fortynding ikke kan opnås, er anlægget markeret med 2 stjerner.

<u>Hvor</u> ($\frac{Q_{min}}{Q}$) ligger mellem 10 og 50 er der sat en enkelt stjerne til indikation af, at dette rensningsanlæg må undersøges nærmere.

<u>Hvor</u> ($\frac{TRP}{P}$) er mindre end 1, er der ligeledes sat 2 stjerner, svarende til at det pågældende rensningsanlæg mere end fordobler fosfortransporten.

<u>Tilsvarende</u> er ($\frac{TRP}{P}$) mellem 1 og 5 markeret med een stjerne.

I situationen år 1999 er Skanderborg, Hammel, Hadsten og Viborg markeret med to stjerner, hvorimod Tørring, Søholt, Kjellerup, Rødkjærsbro og Hinnerup er markeret med een stjerne.

	1975		1985		1999	
	$\frac{Q_{min}}{Q}$	$\frac{TRP}{P}$	$\frac{Q_{min}}{Q}$	$\frac{TRP}{P}$	$\frac{Q_{min}}{Q}$	$\frac{TRP}{P}$
Tørring	75	7	53	4,1*	35*	2,7*
Brædstrup	225	8	141	6,5	93	5,6
Skanderborg	2,2**	0,5**	1,4**	0,7**	0,9**	0,6**
Ry	391	11,4	256	8,1	182	7,2
Them	926	84	651	38	430	24
Sejs	302	4,5*)	231	4,5*)	174	4,8*)
Virklund	442	45	338	23	241	15
Søholt	38*	2,1*	27*	5,3	17,9*	4,7*
Hammel	1,7**	0,5**	1,3**	0,5**	0,9**	0,5**
Kjellerup	21*	2,4*	16*	2,1*	13*	2,1*
Rødkjærsbro	50	6,9	36*	5,3	28*	4,8*
Bjerringbro	152	17	128	10,5	103	9,1
Ulstrup	2200	64	1300	39	723	30
Hinnerup	62	3,4*	35*	4,1*	21*	4,1
Hadsten	16*	3*	9,5**	2,2*	7,5**	2,3
Viborg	15*	1,0**	12	0,9**	10**	0,9**

Tabel 7.1 Recipientindices for rensningsanlæg større end 2000 personækvivalenter (PE).

7.2 FREMTIDIG RECIPIENTKVALITET

7.2.1 VANDLØB

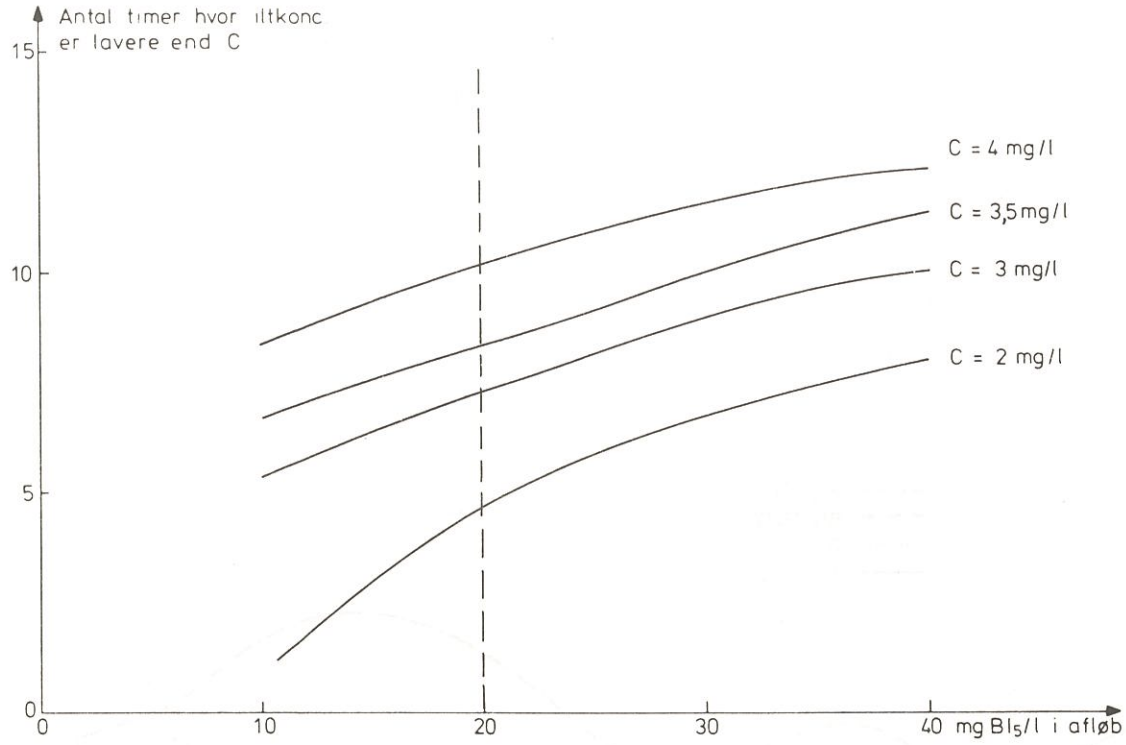
Den fremtidige vandkvalitet er for vandløbsstrækningerne vurderet ved iltbalancemodeller, jævnfør afsnit 6. Vandløbets kvalitet formuleres som en kombination af et iltkrav og et krav til et antal timer med iltindhold over en vis koncentration. Ud fra varighedskurver, som vist i figur 7.5, kan BI_5-koncentrationen i afløbet fra et rensningsanlæg umiddelbart aflæses, når kravværdien kendes.

Den fremtidige recipientkvalitet er vurderet for 3 vandløbsstrækninger, nemlig Hadsten lilleå, /52/, Tange å, /52/ og Nørre å, /59/.

Beregninger i forbindelse med projekteringen af et nyt rensningsanlæg i Hadsten by med en vandmængde på 112 l/sek og varierende BI_5-belastning gav varighedskurverne, som vist i figur 7.5. Det nuværende anlæg dimensioneredes herefter til en afløbskoncentration på 20 mg BI_5/l.

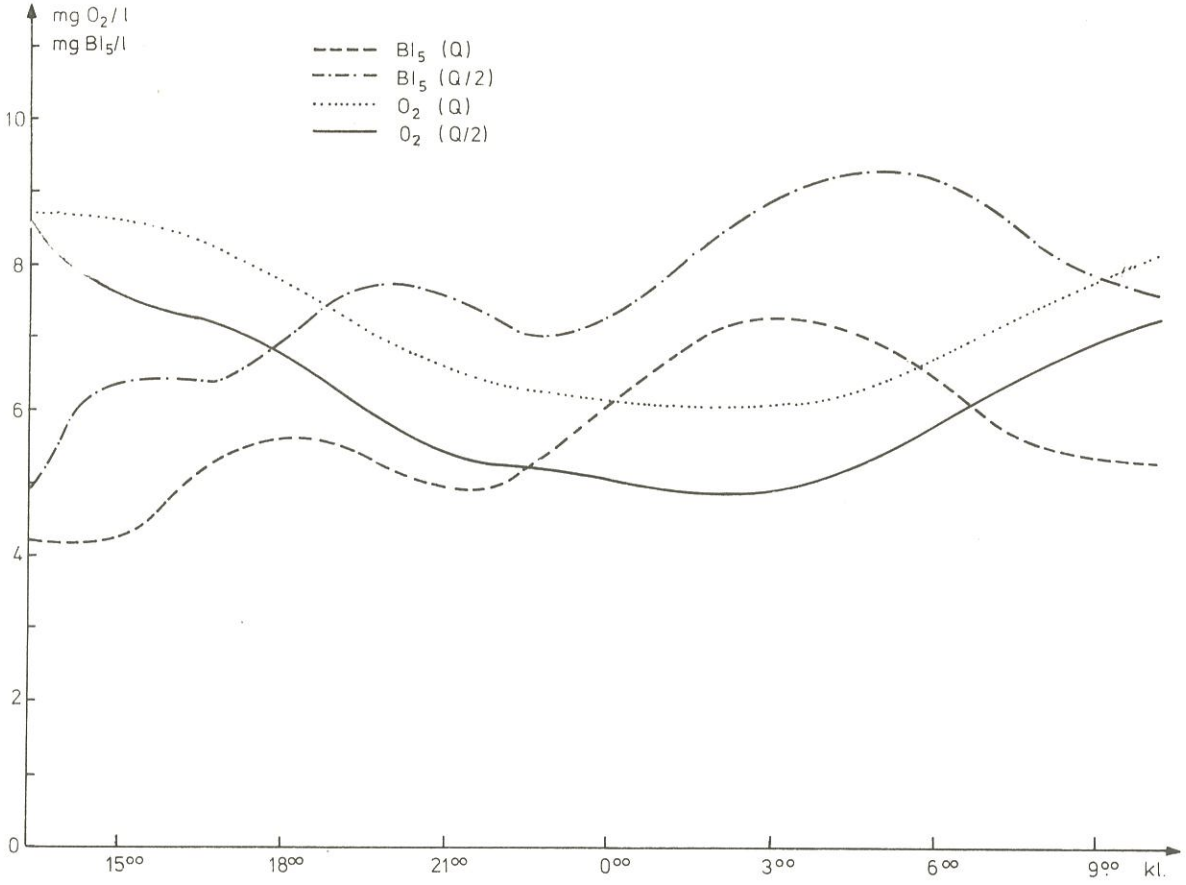
Ved Tange å er virkningen af en nedsat vandføring (for eksempel på grund af markvanding) vurderet med de fundne vandløbsparametre. Ved en 25 % reduktion af vandføringen var iltkoncentrationen om natten ca. 0,7 mg/l lavere, hvorimod en 50 % reduktion betød et fald på ca. 2 mg ilt/l om natten, se figur 7.6. I ingen af eksemplerne var iltkoncentrationen imidlertid mindre end 5 mg/l.

En forøgelse af spildevandsmængden med 50 % og 100 % med samme rensningsgrad som den nuværende viste ingen markant ændring i iltforholdene.

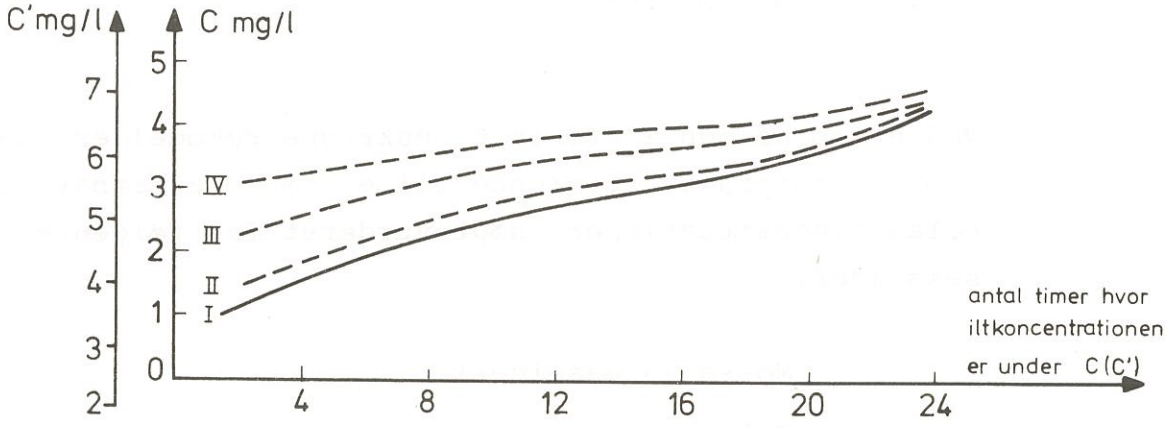


Figur 7.5 Varighedskurver for iltkoncentrationen ved Vissing bæk på Hadsten lilleå ved forskellige BI_5-belastninger fra rensningsanlæg i Hadsten by med en konstant spildevandsmængde på 112 l/sek.

Eksempler på beregningsresultaterne for Nørre å er vist på figur 7.7, hvoraf det fremgår, at en væsentlig bedring af iltforholdene ved Vejrum bro vil kunne opnås ved at hæve iltkoncentrationen efter Rindsholm dambrug, som sænker denne med 2,5 mg ilt/l. De 2 mg/l skyldes respiration i selve dambruget og de 0,5 mg/l skyldes bundrespiration på strækningen fra Rindsholm ny vejbro til Randrup bro. Iltkoncentrationen kan f.eks. hæves ved indblæsning af luft i åens vand, jf. konklusion i /59/.



Figur 7.6 Effekt af nedsat vandføring i Tange å på BI_5- og iltkoncentration på en station nedstrøms Kjellerup.



ROMERTALLENE på kurverne refererer til:

I : Reference uden indgreb.

II : BI_5 fra Rindsholm dambrug ~ 0.

III : BI_5 ved station B 1 (efter sammenblanding af Ved sø, Grundel bæk, Rindsholm dambrug og Rindsholm rensningsanlæg) er halveret.

IV : BI_5 fra Vedsø ~ 0.

C' skal benyttes, hvis iltindholdet efter Rindsholm dambrug hæves 2,5 mg/l i forhold til den nuværende situation.

Figur 7.7 Eksempler på alternativ- og konsekvensberegninger for Nørreå. Kurverne er varighedskurver i station 706, Vejrumbro, som er lokaliteten med de kritiske forhold, /59/.

7.2.2 SØMODELLER

Ved hjælp af den i afsnit 6 beskrevne sømodel er eutrofieringsgraden, svarende til en række alternative belastningssituationer, søgt vurderet for følgende seks søer:

Mossø (3 bassiner)

Salten langsø

Brassø

Ørnsø

Silkeborg langsø (3 bassiner)

Tange sø (2 bassiner)

I tabel 7.2 er gengivet beregnede primærproduktioner og sigtedybder for nogle udvalgte belastninger, og på figur 7.8 er de tilsvarende årstidsvariationer illustreret.

Beregningsarbejdet i forbindelse med Mossø har ikke kunnet afsluttes. De indtil nu udførte simuleringer viser, at resultaterne herfra kun kan tillægges en rent kvalitativ vægt, måske med undtagelse af beregningerne i forbindelse med det vestligste bassin i søsystemet. Vedrørende Mossø simuleringerne må der derfor henvises til sømodelrapporten. Forklaringen på Mossø beregningernes begrænsede gyldighed skal søges i det forhold, at silicium i meget høj grad er bestemmende for algevæksten, jf. afsnit 4.5, og dette forhold er der ikke taget hensyn til ved modelbeskrivelsen.

Om beregningsresultaterne for de øvrige søer kan sammenfattes følgende, idet der generelt henvises til tabel 7.2 og figur 7.8:

SALTEN LANGSØ

Ved den aktuelle belastning er både N og P begrænsende for algevæksten, og ved en reduktion af fosfor- og/eller kvælstofbelastningen kan opnås en væsentligt forbedret vandkvalitet. Reduceres alene fosforbelastningen, bliver fosfor den dominerende begrænsende faktor, og ved fosforreduktioner over en vis størrelse ophører kvælstof med at være begrænsende. Ved belastningsalternativ nr. 7, hvor både fosfor- og kvælstoftilførslerne er reduceret kraftigt, spiller mangel på fosfor ligeledes en større rolle end mangel på kvælstof. Det må derfor anses for vigtigere at søge at formindske tilledningerne af fosfor end at søge at formindske tilledningerne af kvælstof, hvis en forbedring ønskes.

Ved forøgelse af fosfor- og kvælstofbelastningen (alternativ nr. 10) forudsiger modellen en forholdsvis begrænset forværring af søens tilstand.

BRASSØ

Ved den aktuelle belastning er både N og P begrænsende for algevæksten. Også i Brassø bliver fosfor imidlertid den dominerende begrænsende faktor, hvis fosforbelastningen reduceres. Modelberegningerne viser, at der i Brassø ved en væsentligt reduceret belastning med fosfor kan opnås en signifikant nedsat primærproduktion. Derimod forudsiges kun en forøgelse af den gennemsnitlige sigtedybde i sommerperioden på ca. 10 cm ved alternativ nr. 1, som svarer til den mindste næringsstofbelastning blandt de gennemregnede eksempler.

ØRNSØ

Ved den aktuelle belastning er fosfor begrænsende for algevæksten. Modelberegningerne viser desuden, at kvælstof er begrænsende i en meget kort periode. Søens tilstand synes ikke at blive væsentligt forværret ved en forøget næringsstoftilledning. Ved en nedsat næringssalttilledning kan vandkvaliteten forbedres betydeligt. Det vil have størst betydning at reducere fosfortilledningen, da fosfor ved samtlige gennemregnede belastningsalternativer er den dominerende begrænsende faktor.

SILKEBORG LANGSØ

De to vestlige bassiner i Silkeborg Langsø, bassin I og II kan betragtes under ét, idet ingen af bassinerne berøres af de store vand- og stofmængder fra Gudenåen, som via Brassø strømmer til det østlige bassin (bassin III).

Bassin I og II

I bassin I og bassin II er både fosfor og kvælstof begrænsende for algevæksten og vurderes til at spille en sideordnet rolle. Ved en vidtgående fosforfjernelse kan opnås en meget betydelig bedring i vandkvaliteten, og under disse forhold (alternativ nr. 9) vil kun fosfor være begrænsende og en reduktion af kvælstoftilførslen derfor uden effekt. Iværksættes en mindre vidtgående reduktion af fosfortilførslen, har det derimod betydning også at fjerne kvælstof.

Beregningsresultaterne, svarende til alternativ nr. 6, viser, at den øgede belastning medfører en vis, men dog begrænset forværring af tilstanden i de to søafsnit.

Bassin III

Stoftilførslerne til bassin III domineres af tilførslerne fra Gudenåen via Brassø, og fosfortilførslen desuden af spildevandsbidraget fra Søholt rensningsanlæg. Under de aktuelle belastningsforhold er fosfor og kvælstof hver for sig begrænsende i korte perioder.

Belastningsalternativ nr. 1 svarer til afskæring af den direkte spildevandstilførsel kombineret med en væsentlig reduktion af stoftilførslen fra Gudenåen. Modelberegningerne forudsiger en markant formindskelse af primærproduktionen (mindre produktion af organisk stof), men derimod kun en forøgelse af den gennemsnitlige sigtedybde i sommerperioden på 16 %. Under disse forhold er både fosfor og kvælstof begrænsende, men manglen på fosfor er mest udtalt.

Mindre vidtgående reduktioner af næringssalttilførslerne (som f.eks. alternativ nr. 4) vil ifølge modelberegningerne have en forholdsvis begrænset effekt. Simuleringer med øget næringsstoftilførsel (alternativ nr. 11) viser ingen mærkbar forværring af søens tilstand. Under belastningsforhold, svarende til alternativ nr. 11, er kun kvælstof begrænsende for algevæksten.

Det må konkluderes, at det vil være vigtigere at foretage rensningstekniske indgreb over for fosfor end over for kvælstof. Der skal imidlertid ske en ret stor reduktion af fosfortilledningen, før man opnår signifikante forbedringer af vandkvaliteten.

TANGE SØ

Under de aktuelle belastningsforhold er både fosfor og kvælstof begrænsende for algevæksten. I den sydlige del af søen (bassin I) er fosfor imidlertid dominerende som begrænsende faktor.

Alternativ nr. 1 svarer til en ret vidtgående reduktion af fosforbelastningen samt en noget formindsket kvælstoftilførsel. Der opnås herved en væsentligt forbedret vandkvalitet. Både fosfor og kvælstof er begrænsende, men fosformangelen dominerer.

En forøget belastning (alternativ nr. 17) vil have forholdsvis begrænset virkning med hensyn til det sydlige bassin (bassin I), hvorimod forholdene forværres mærkbart i det nordlige bassin (bassin II). Her er kun fosfor begrænsende i bassin I, medens både fosfor og kvælstof er begrænsende i bassin II.

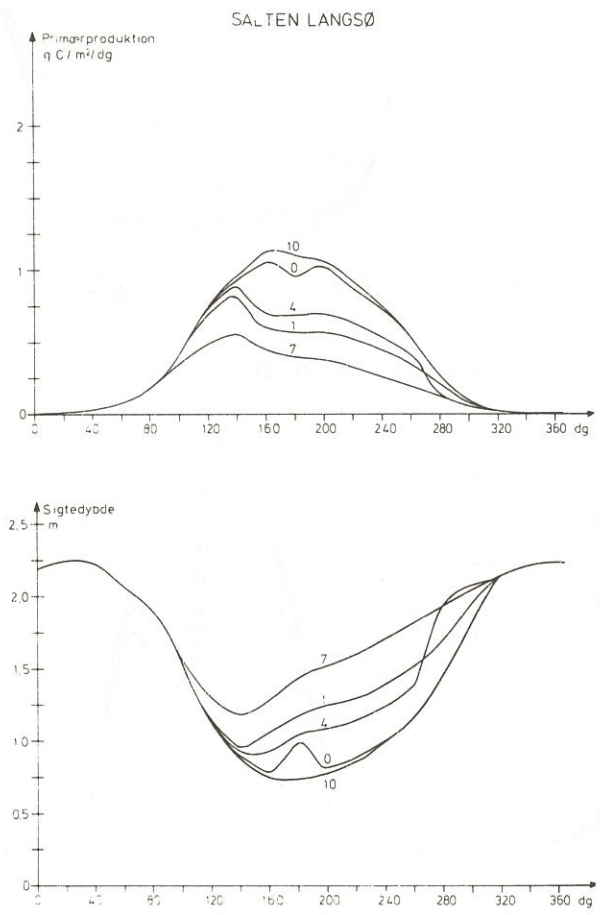
Man vil med hensyn til Tange sø kunne opnå større forbedringer af vandkvaliteten ved at satse på rensning for fosfor end rensning for kvælstof.

ALLE MODELBEHANDLEDE SØER

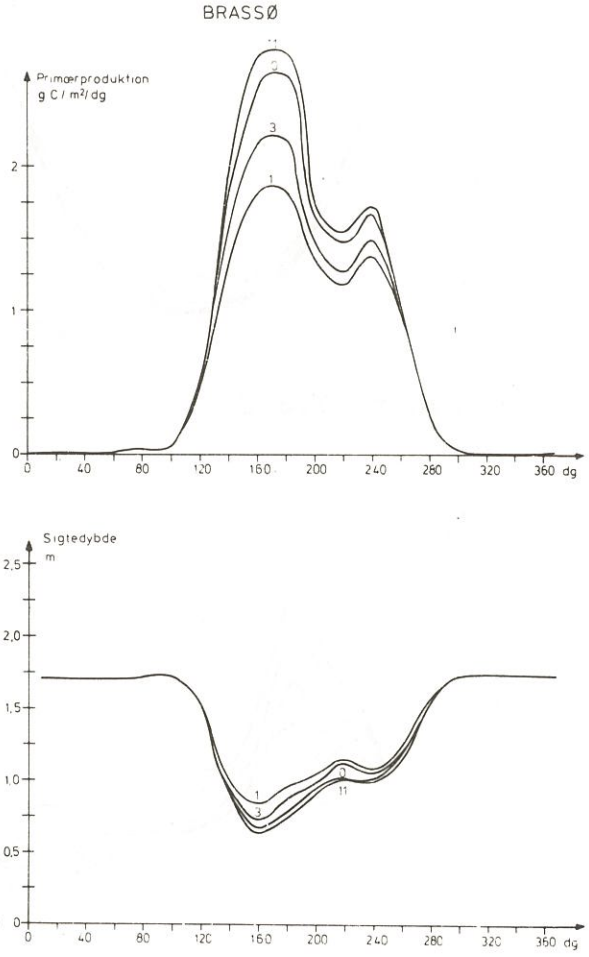
Det kan sammenfattende konkluderes, at både fosfor og kvælstof er begrænsende for algevæksten i størstedelen af de betragtede søer, idet fosfor dog må betegnes som det dominerende begrænsende næringsstof. Af denne årsag, og fordi en langt større del af fosfortilførslerne end af kvælstoftilførslerne er kontrollerbare, må det anbefales at koncentrere en fremtidig rensningsteknisk indsats om fosforfjernelse.

Figurene 7.8 A - 7.8 H

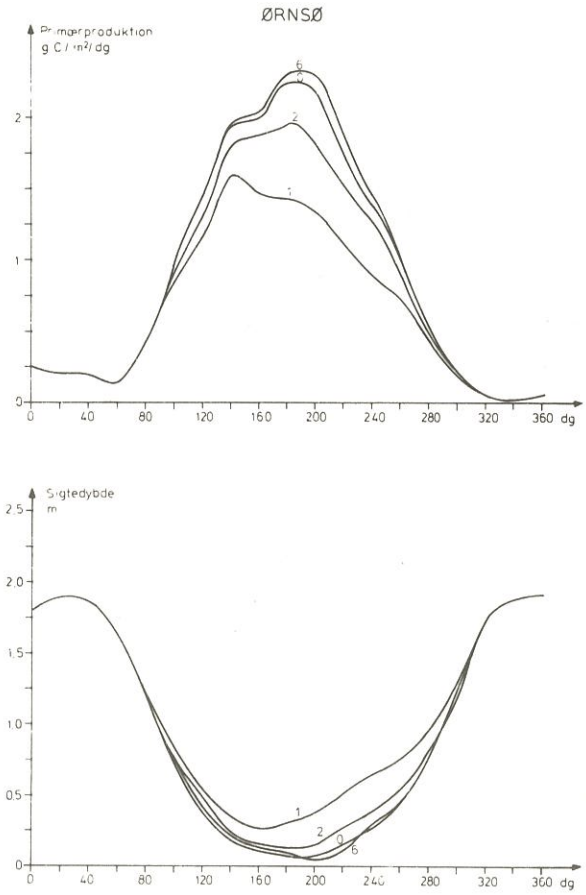
Prognoser for effekterne af ændrede næringssalttilførsler til de undersøgte søer. Årstidsvariationer af primærproduktion og sigtedybde.



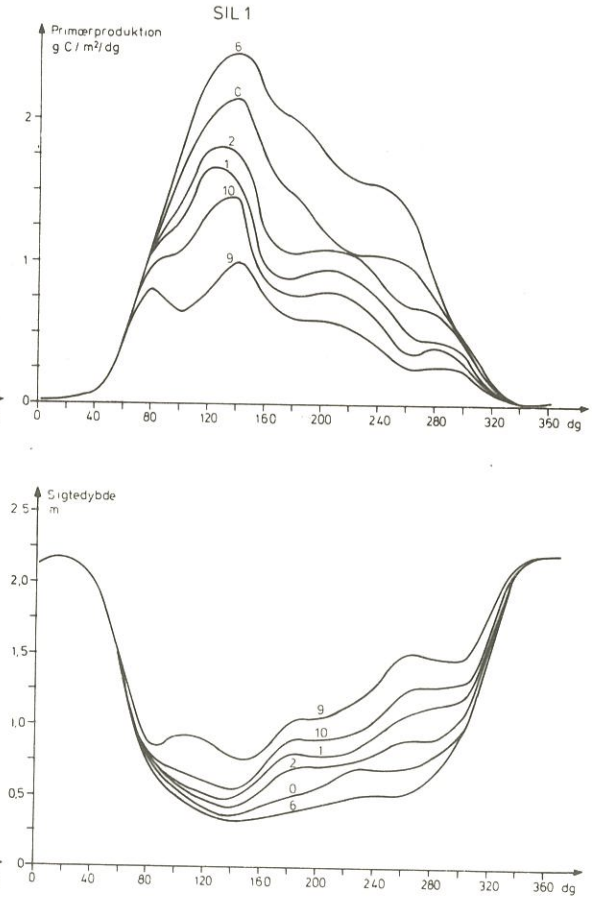
Figur 7.8 A



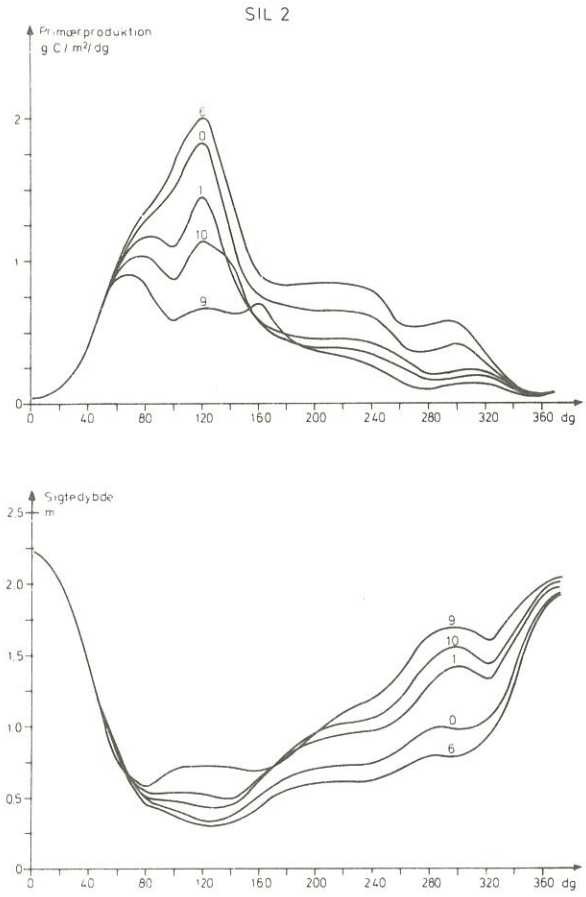
Figur 7.8 B



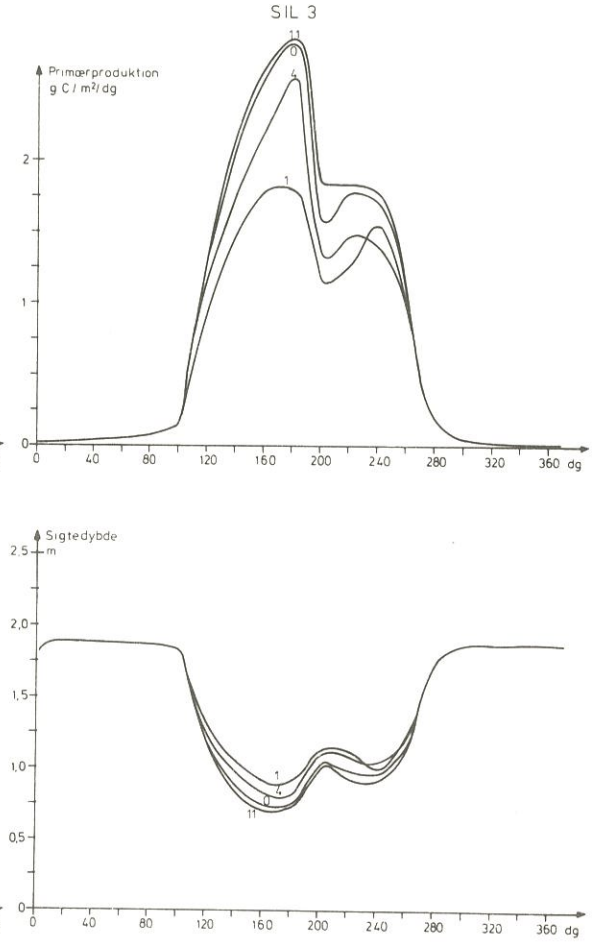
Figur 7.8 C



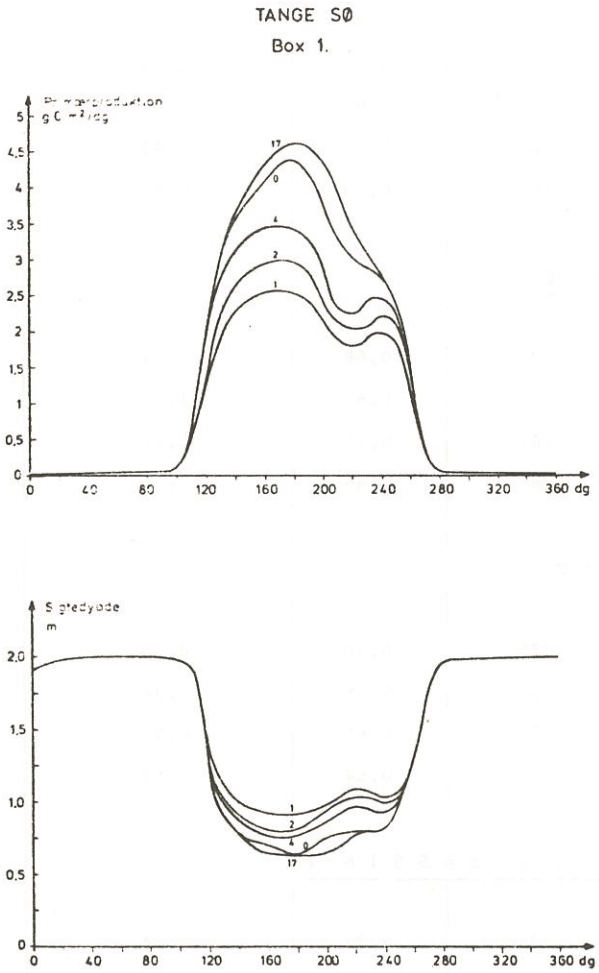
Figur 7.8 D



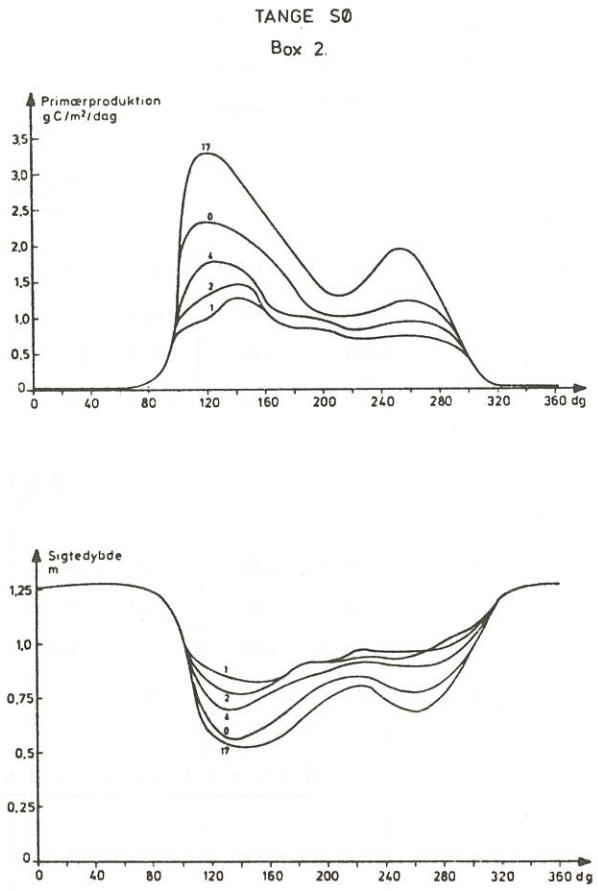
Figur 7.8 E



Figur 7.8 F



Figur 7.8 G



Figur 7.8 H

BELASTNINGS-ALTERNATIV NR.	NÆRINGSSALTTILFØRSEL N TONS	N G/M²	P TONS	P G/M²	PRIMÆR-PRODUKTION G C/M²/ÅR	MINIMAL SIGTEDYBDE M	GENNEMSNITLIG SIGTEDYBDE MELLEM DAG NR. 120 OG DAG NR. 260 M
			SALTEN LANGSØ				
0	68,4	22,8	9,2	3,05	153	0,77	0,94
1	38,6	12,9	6,0	1,99	108	0,97	1,22
4	47,8	15,9	7,6	2,52	124	0,92	1,09
7	26,6	8,9	2,1	0,70	80	1,18	1,45
10	79,7	26,6	12,9	4,30	167	0,73	0,89
			BRASSØ				
0	789	710	51,9	47	274	0,68	1,01
1	599	540	20,2	18	214	0,83	1,11
3	661	595	30,2	27	241	0,75	1,06
11	869	782	69,8	63	288	0,65	1,00
			ØRNSØ				
0	57,1	135	6,0	14,0	325	0,56	0,70
1	33,7	80	2,0	4,7	235	0,76	0,94
2	43,9	104	3,4	8,0	289	0,65	0,78
6	73,2	173	9,0	21,0	332	0,54	0,69
			SILKEBORG LANGSØ, BASSIN I				
0	63,4	138	7,6	17	322	0,37	0,54
1	47,6	104	4,9	11	238	0,48	0,73
2	54,3	118	5,9	13	275	0,42	0,64
6	75,9	165	9,8	21	397	0,33	0,42
9	38,8	84	1,7	3,8	150	0,77	1,04
10	43,2	94	3,3	7,3	203	0,55	0,84
			SILKEBORG LANGSØ, BASSIN II				
0	54,2	63	5,3	6,2	241	0,33	0,58
1	42,4	50	3,5	4,1	186	0,42	0,74
6	63,9	75	6,8	8,0	281	0,30	0,50
9	36,7	43	1,4	1,6	135	0,68	0,91
10	39,4	46	2,4	2,8	165	0,48	0,81

Tabel 7.2 Fortsættes .....

Tabel 7.2 Fortsat

BELASTNING-ALTERNATIV NR.	NÆRINGSSALTTILFØRSEL N TONS	N G/M²	P TONS	P G/M²	PRIMÆR-PRODUKTION G C/M²/ÅR	MINIMAL SIGTEDYBDE M	GENNEMSNITLIG SIGTEDYBDE MELLEM DAG NR. 120 OG DAG NR. 260 M
	SILKEBORG LANGSØ, BASSIN III						
0	1090	1173	101,0	108	307	0,71	0,92
1	656	707	30,5	33	227	0,89	1,07
4	914	985	55,9	60	262	0,78	1,00
11	1270	1368	145,0	157	316	0,71	0,91
	TANGE SØ, BASSIN I						
0*)	1680	1203	108,0	77	491	0,66	0,84
1	1010	720	29,3	21	321	0,91	1,06
2	1110	791	39,3	28	358	0,83	1,00
4	1310	933	58,4	42	406	0,76	0,93
17	1930	1381	158,0	113	529	0,63	0,81
	TANGE SØ, BASSIN II						
0	1570	324	96,7	20,0	338	0,58	0,72
1	981	203	30,2	6,2	186	0,82	0,90
2	1070	221	38,9	8,0	207	0,77	0,87
4	1250	258	55,4	11,0	246	0,70	0,82
17	1770	366	137,0	28,0	416	0,51	0,64

*) Der er her antaget et spildevandsbidrag på 46 % P og 12 % N, som er regnet konstant igennem året.

Tabel 7.2 Beregnede primærproduktioner og sigtedybder i de undersøgte søer, svarende til udvalgte belastningsalternativer.

7.2.3 SØER, HVOR MODELBEREGNINGER IKKE ER FORETAGET

SKANDERBORG SØERNE

Skanderborg centralrensningsanlæg er under ombygning og udvidelse. Det forventes, at det står fuldt udbygget i 1977. Det må således antages, at den fremtidige rensningsgrad vil kunne medføre en forbedring af vandkvaliteten i Skanderborg sø.

Antagelsen bygger dels på de erfaringer, der foreligger fra undersøgelser i andre søer, hvor belastningsforholdene er reduceret væsentligt, dels på beregninger over den fremtidige fosfortilførsel fra Skanderborg centralrensningsanlæg.

Idet der tages hensyn til Skanderborg søs øvrige belastning, vurderes det som sandsynligt, at de indledte rensningsforanstaltninger kan føre til en vandkvalitet som for en B sø.

RAVNSØ OG KNUDSØ

Ravnsø

Dersom den nuværende vandkvalitet i Ravnsø - en B sø - skal opretholdes, må tilledningen af næringssalte begrænses i forhold til det for 1973 målte niveau.

Selv om det mekanisk-biologiske rensningsanlæg i Nr. Vissing nu også omfatter fosforreduktion, synes fosforbelastning af Ravnsø ikke at være aftagende. Dersom en aftagende belastning ikke etableres, må det antages, at den igangværende eutrofiering hurtigt kan medføre en forringelse af vandkvaliteten i Ravnsø,/2/.

Omvendt må det anses for sandsynligt, at søens nuværende vandkvalitet kan opretholdes, hvis fosfortilførslen reduceres.

Knudsø

Udledningen fra Ry rensningsanlæg er i 1973 - 74 afskåret fra Knudsø, således at Ry lillesø nu er recipient for det mekanisk-biologisk rensede spildevand. Imidlertid kan det blive nødvendigt yderligere at iværksætte langsigtede foranstaltninger for at nedbringe stoftilførslen til Knudsø fra forskellige tilløb, bl.a. stammende fra overfaldsbygværker. Det må tillige forudsættes, at fosfortilførslen fra Knudå (fra bl.a. Ravnsø) ikke stiger i fremtiden. Under forudsætning af, at fosfortilførslen til Knudsø reduceres, kan det forventes, at den igangværende forbedring af Knudsøs vandkvalitet kan fastholdes - også på længere sigt.

SØBYGAARD SØ

Dersom den igangværende udvikling i Møllebæk - Søbygaard sø - Gjern å systemet fortsættes uden yderligere rensningstekniske indgreb, kan der forventes fremtidig forekomst af store mængder af planktonalger, særligt som store og langvarige maxima af blågrønalger i sommertiden. Søens nuværende tilstand som "den rådne sø" kunne således tænkes afløst af en tilstand med ringe gennemsigtighed og stor planktonproduktion, hvor søens forureningstilstand stadig ville være "C søen". Nogen væsentlig forbedring af søens vandkvalitet kan ikke umiddelbart forventes, idet der dels er tale om en belastning af søen med de i søen aflejrede slammængder, og dels fortsat vil blive tilført betydelige mængder af næringssalte med det mekanisk-biologisk rensede spildevand fra Hammel rensningsanlæg.

Ved en fosforreduktion fra rensningsanlægget i Hammel vil en væsentlig forudsætning for opnåelse af en forbedret vandkvalitet i Søbygaard sø være opnået.

Skal Søbygaard sø imidlertid opnå status af B sø, kan det blive aktuelt at udføre yderligere miljøteknologiske indgreb, f.eks. sedimentfjernelse.

BRYRUP SØERNE: KARLSØ, BRYRUP LANGSØ, KVINDSØ, KULSØ

Karlsø

Vandkvaliteten i denne relativt rene B sø er truet af:

- tilstrømning fra de omgivende landbrugsområder (som bl.a. medfører en stor kvælstofbelastning af søen),
- en lejlighedsvis tilstrømning af opblandet byspildevand fra Vinding by (ved et eventuelt overløb til Kringelbæk),
- en lejlighedsvis (eller eventuel fremtidig permanent) udsivning fra spildevandstanke (septictanke, trixtanke etc.) i den nærliggende sommerhusbebyggelse, samt
- en lejlighedsvis (eller eventuel fremtidig permanent) forurening af søen i forbindelse med dens anvendelse til forskellige rekreative formål.

Det må påregnes, at hver enkelt af disse potentielle forureningspåvirkninger alene (altså uden samtidig effekt fra de øvrige) ville kunne fremkalde en eutrofiering af Karlsø.

Bryrup langsø

Det må antages, at søens nuværende belastning stort set vil svare til den fremtidige belastning, idet der særligt er tale om belastning ved tilførsel med Nimdrup bæk samt tilførsel fra overfaldsbygværker og diverse mindre (diffuse) kilder. Der kan næppe forventes opnået en væsentlig forbedring af Bryrup langsøs vandkvalitet, såfremt den nuværende belastning bibeholdes.

Kvindsø og Kulsø

Det må antages, at søernes nuværende belastning med mekanisk-biologisk renset spildevand vil medføre en fortsat eutrofiering. Etablering af fosforreduktion i Bryrup-anlægget, der udleder spildevand i Kvindsø, må umiddelbart anses for en nødvendig rensningsteknisk foranstaltning, dersom søernes forureningsstatus skal forbedres.

8. VURDERING AF RENSNINGSTEKNISKE FORANSTALTNINGER, VIRKNING OG ØKONOMI

Ved hjælp af den i afsnit 6 omtalte stoftransportmodel er virkningerne af forskellige rensningstekniske indgreb vurderet. Sideløbene hermed har Cowiconsult vurderet økonomien ved fire af de fem gennemregnede alternativer /6/.

ALTERNATIVER

Der er gennemregnet følgende alternativer fremskrevet til 1999:

Alternativ 1

For alle bysamfund over 200 PE etableres mekanisk-biologisk rensning af afløbsvandet inden 1980.

Alternativ 2

Alternativ 2 er en udbygning af alternativ 1, idet de mekanisk-biologiske rensningsanlæg, der er større end 500 PE udbygges med kemisk fældning i perioden 1980 - 1990. Kvalitetsindgreb regnes virksomme fra 1985.

Alternativ 3

Alternativ 3 er en lignende udbygning af alternativ 1 som alternativ 2, men anlæggene udbygges både med kemisk fældning og denitrifikation.

Alternativ 4

Alternativ 4 er identisk med alternativ 2, dog udbygges de største af anlæggene (> 15.000 PE) med kemisk fældning allerede i 1. etape, det vil sige inden 1980.

Alternativ 5

Alternativ 5 er en udbygning af alternativ 1, men mindre omfattende end alternativ 2, idet kun anlæg større end 15.000 PE udbygges med kemisk fældning inden 1980.

BEREGNINGSPROCEDURE

Anlægsudgifter

Anlægsudgifterne er beregnet efter Miljøteknisk Brancheforenings prisopgivelser /30/, idet der for hvert anlæg er foretaget en vurdering af, hvornår det er nødvendigt at nedlægge, udvide eller ombygge anlægget. Der er endvidere taget hensyn til de enkelte kommuners planer, januar 1976, om sammenlægning og udbygning af eksisterende kloakoplande og tilhørende rensningsanlæg.

For nogle af de mindre bysamfund er der forudsat en fælles rensning, og de nødvendige afskærende ledninger er derfor indkalkuleret ud fra en simpel enhedspris.

Eksisterende rensningsanlæg og igangværende byggerier er ligesom detailkloakeringer med videre ikke indregnet i overslagene.

Driftsudgifter

Driftsudgifterne er ligeledes beregnet efter Miljøteknisk Brancheforenings prisopgivelser.

For alle anlæggene er der i hvert af alternativerne udregnet årlige driftsudgifter for belastningen i 1980, 1990 og 2000. I de mellemliggende år er udgifterne fundet ved lineær interpolation.

I driftsudgifterne er ikke indregnet udgifter til pumpning af afløbsvandet samt til borttransport og deponering af det afvandede slam.

Nutidsværdiberegningen

For hvert af de fire alternativer er beregnet de kapitaliserede nutidsværdier af anlægsudgifter hver for sig og samlet.

Ved beregningen er der anvendt en planperiode på 25 år fra 1976 til år 2000, og kapitalværdierne er således henført til 1976. Beregningerne er gennemført med en kalkulationsrente på 4 % til 8 %. Beregningerne er anført under hensyn til restværdierne i år 2000, idet disse er kapitaliseret, tilbagediskonteret til 1976 og fratrukket nutidsværdien af investeringerne. Afskrivningsperioden er ansat ensartet til 30 år.

Alternativ 1 har vist sig at have marginal betydning for næringsstoftransporter i systemet, idet alle større bysamfund enten har eller er i gang med af opføre mekanisk-biologiske rensningsanlæg. Økonomisk tegner alternativ 1 sig dog for en stor udgift såvel til anlægs- som til driftsomkostninger.

Alternativ 2 har ingen nævneværdig effekt for kvælstofs vedkommende. For fosfors vedkommende ses virkningen ved år 2000 på figur 8.1. Fosformængden vil f.eks. ved A 10 i år 2000 reduceres fra 353 t/år til 116 t/år, sammenlign med figur 7.4.

Alternativ 3 giver samme effekt for fosfor som alternativ 2. Reduktionen i kvælstof bliver marginal, idet den største kvælstofbelastning stammer fra landbrug. Ved A 10 reduceres stoftransporten af kvælstof i år 2000 fra ca. 3500 t/år til 2800 t/år. Effekten vises i figur 8.2, der skal sammenholdes med figur 7.3.

Alternativ 4 som alternativ 2.

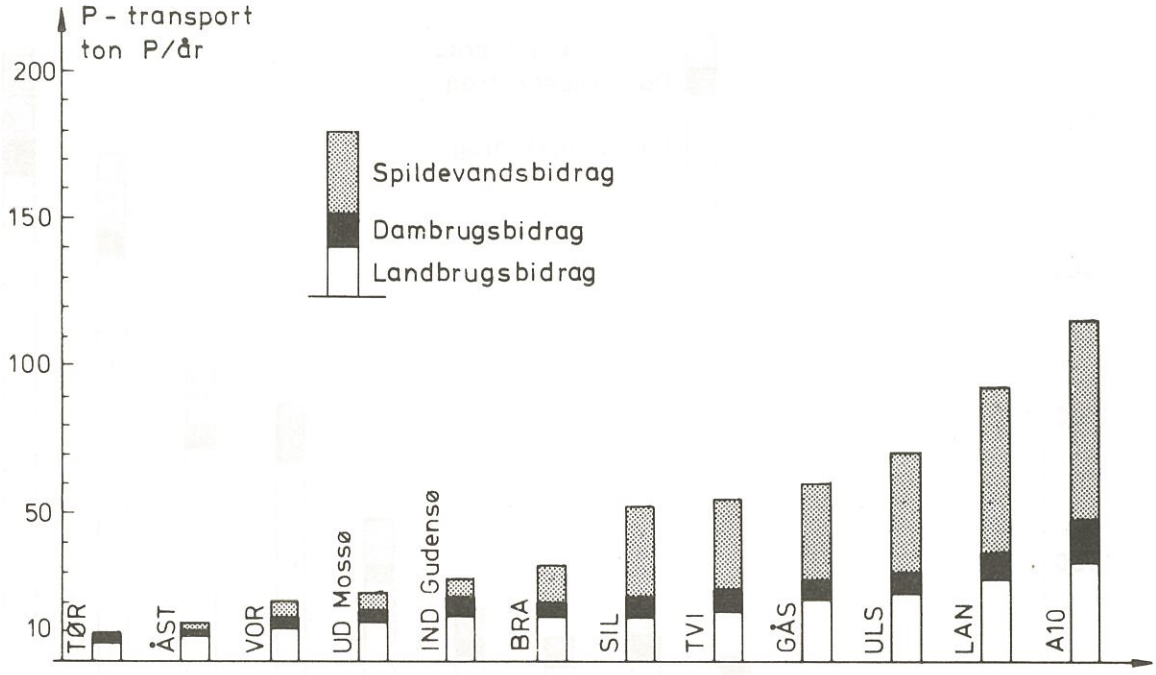
Alternativ 5 giver kun effekt for fosfor. Effektens størrelse fremgår af figur 8.3. Ved A 10 formindskes stoftransporten således fra 353 t/år (alternativ 1) til 220 t/år, se figur 7.4.

De økonomiske beregninger er sammenfattet i tabel 8.1, som viser nutidsværdier af anlægs-, drifts- og totalomkostninger ved en 6 %'s kalkulationsrente. Der er i de økonomiske beregninger ikke indregnet udgifter til arealerhvervelse, merværdiafgift m.m.

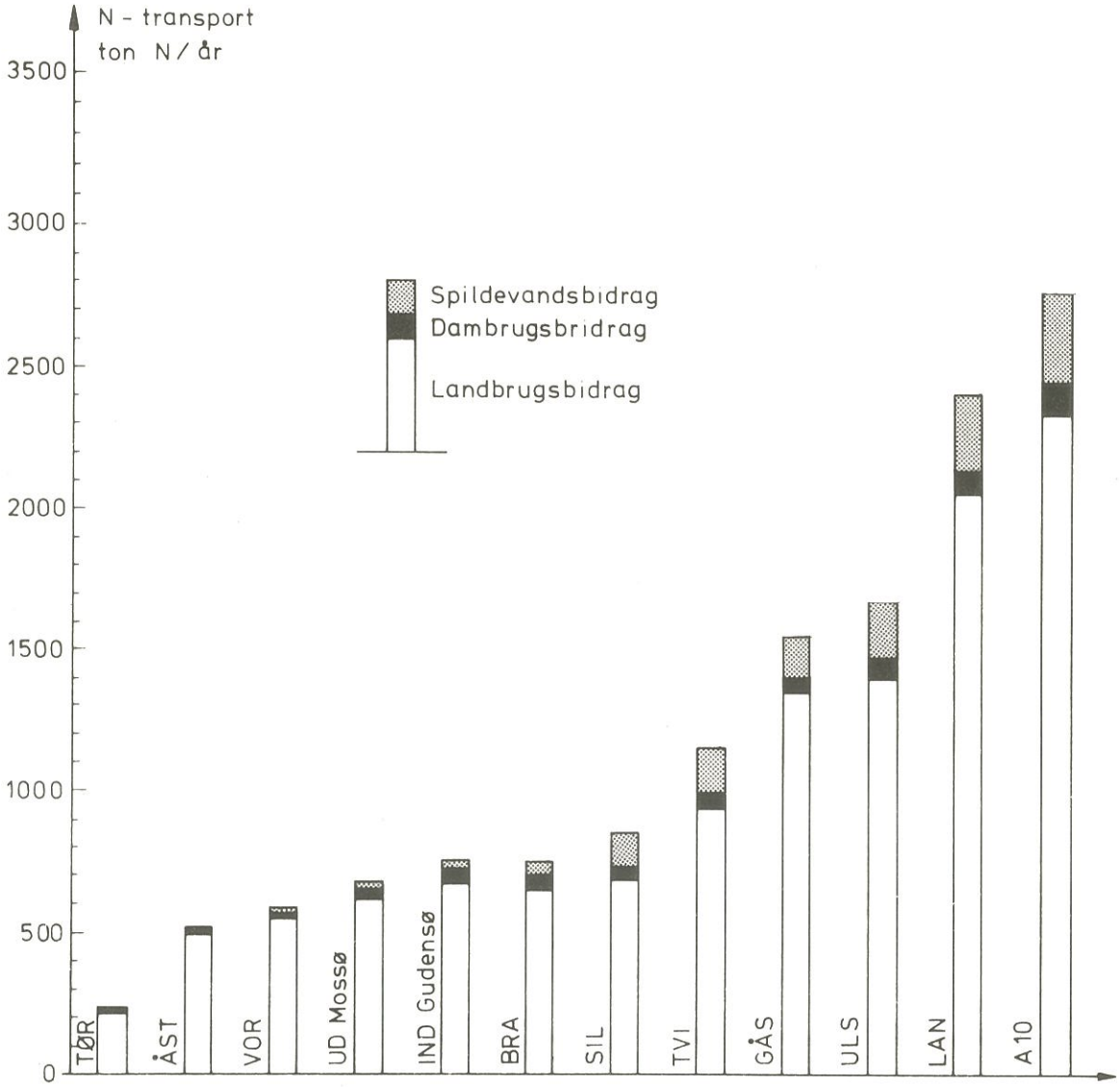
	Alternativ 1	Alternativ 2	Alternativ 3	Alternativ 4	Alternativ 5
Anlægsudgifter	62	73	80	81	67
Driftsudgifter	129	153	161	159	143
Totaludgifter	191	226	241	240	210

Tabel 8.1 De økonomiske beregninger. Enheder er mill. kr. De økonomiske beregninger af alternativ 5 er fremkommet ved interpolation og beror i nogen grad på skøn.

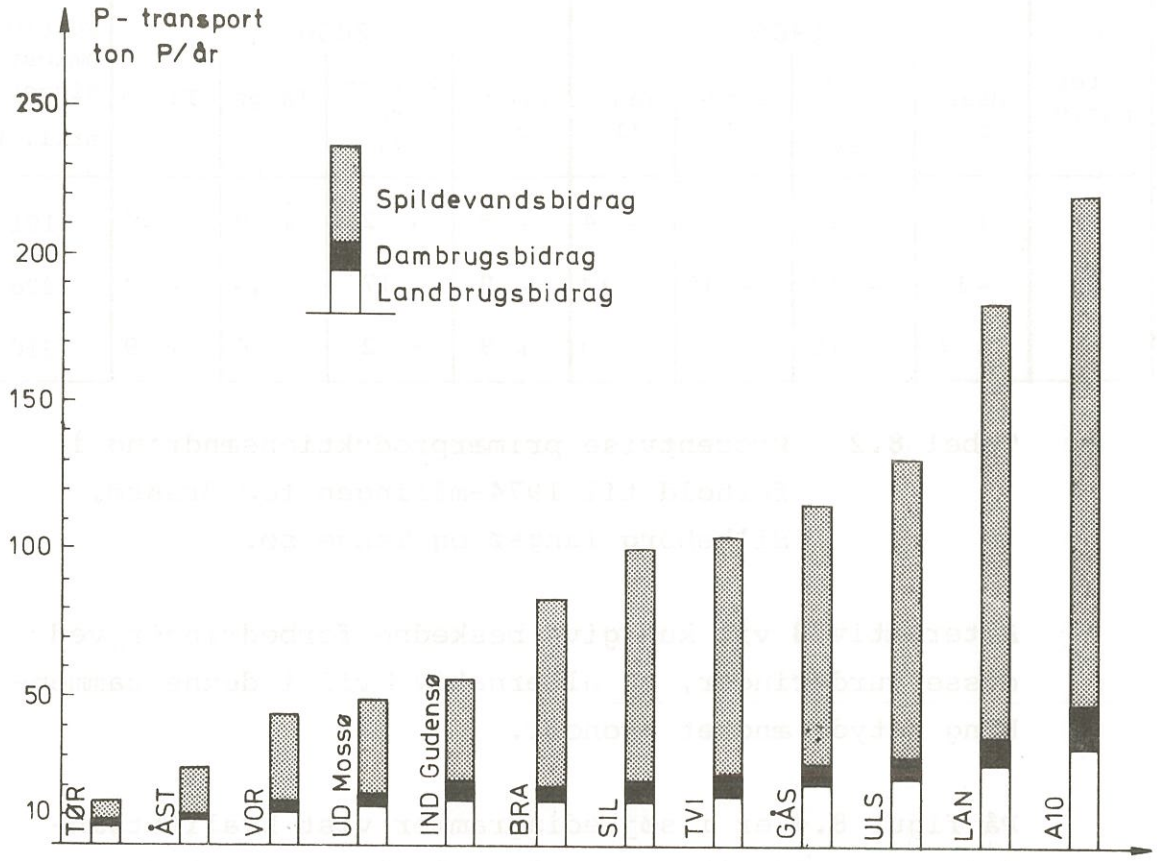
De meget store omkostninger for alternativ 1's vedkommende kan muligvis nedsættes noget ved at acceptere en noget langsommere udbygningstakt for alle de små anlæg til mekanisk-biologisk rensning.



Figur 8.1 Effekt på fosfortransporten i Gudenåen år 2000 af kemisk fældning på alle større rensningsanlæg i perioden 1980 - 90 (alternativ 2). Sammenlign med figur 7.4.



Figur 8.2 Effekt på kvælstoftransporten i Gudenåen år 2000 af både kemisk fældning og denitrifikation på alle større rensningsanlæg i systemet i perioden 1980 - 90 (alternativ 3). Sammenlign med figur 7.3.



Figur 8.3 Effekt på fosfortransporten i Gudenåen år 2000 af kemisk fældning på alle større anlæg (alternativ 5).

For at vurdere betydningen af rensningsalternativerne er stoftransportværdierne benyttet ved interpolation i sømodelberegningerne.

Det viser sig herved, at der opnås de i tabel 8.2 viste procentvise primærproduktionsændringer i forhold til 1974-værdierne i henholdsvis Brassø, Silkeborg langsø, bassin III, og Tange sø. Tallene skal betragtes som størrelsesordener, idet de er fremkommet ved interpolation mellem gennemregnede belastningsalternativer for de 3 søer.

Alternativ	1985				2000				Totale omkostninger i mill. kr.
	Brassø	Silkeborg III	Tange I	Tange II	Brassø	Silkeborg III	Tange I	Tange II	
1	+ 4	- 13	+ 1	+ 4	+ 9	+ 2	+ 8	+ 24	191
2	- 12	- 19	- 16	- 17	- 8	- 17	- 13	- 13	226
5	+ 4	- 13	0	0	+ 9	- 2	+ 4	+ 9	210

Tabel 8.2 Procentvise primærproduktionsændring i forhold til 1974-målingen for Brassø, Silkeborg langsø og Tange sø.

Alternativ 3 vil kun give beskedne forbedringer ved disse vurderinger, og alternativ 4 vil i denne sammenhæng betyde ændret økonomi.

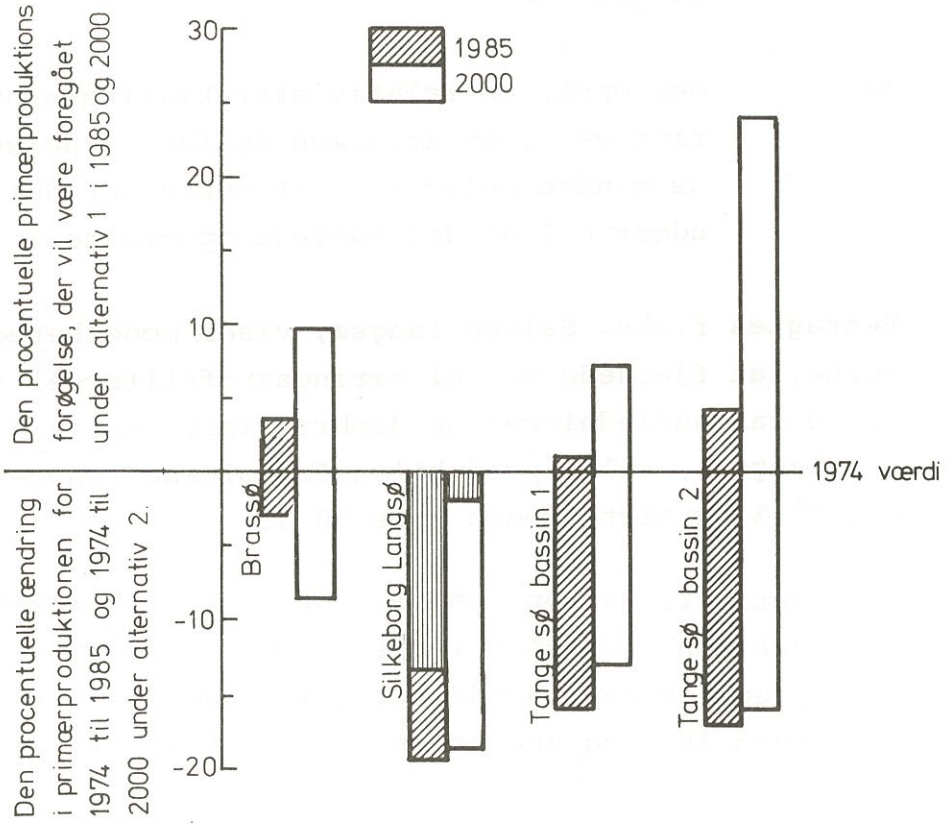
På figur 8.4 er i søjlediagrammer vist kvalitetsændringerne ved alternativ 1 og 2. Det ses, at der i 1985 og år 2000 opnås følgende cirkareduktioner i primærproduktionsværdierne i forhold til de værdier, man ville få, hvis der kun indførtes biologisk rensning:

	1 - 2	
	1985	2000
Brassø	16 %	17 %
Silkeborg III	6 %	15 %
Tange sø I	17 %	21 %
Tange sø II	21 %	37 %

En tilsvarende betragtning for alternativ 1 og 3 giver:

	1 - 5	
	1985	2000
Brassø	0 %	0 %
Silkeborg III	0 %	0 %
Tange sø I	1 %	4 %
Tange sø II	4 %	15 %

Det ses heraf, at vandkvaliteten i Brassø forbedres ved alternativ 2, men stoftilvæksten i det øvre Gudenåopland udligner fosforfjernelse i Skanderborg, hvorfor der stort set ingen kvalitetsændring er ved alternativ 5.
Tilsvarende betragtninger gælder for Silkeborg langsø. For Tange sø's vedkommende betyder en fosforreduktion svarende til alternativ 2 en væsentlig forbedring af vandkvaliteten (20 % - 40 %).



Figur 8.4 Kvalitetsforbedringer mellem alternativ 1 og 2. Grunden til, at primærproduktionen i Silkeborg langsø under alternativ 1 forbedres i forhold til 1974-situationen (lodret skravering), er allerede iværksatte foranstaltninger i Silkeborg.

Betragtes sigtedybdekurverne, jf. afsnit 7, ses det, at disse ligger forholdsvis tæt, hvilket indikerer, at man kun vil få begrænsede forbedringer i sigtedybdeforholdene ved de skitserede indgreb.

De her behandlede søer hører til systemets hårdest belastede - hydraulisk og stofmæssigt, og netop derfor fås kun så forholdsvis beskedne resultater af rensningstekniske indgreb.

Sammenfattes beregningerne vedrørende alternativerne 1 - 5, må det konkluderes, at

a) den største del af omkostningerne benyttes til at etablere og drive de biologiske rensningsanlæg,

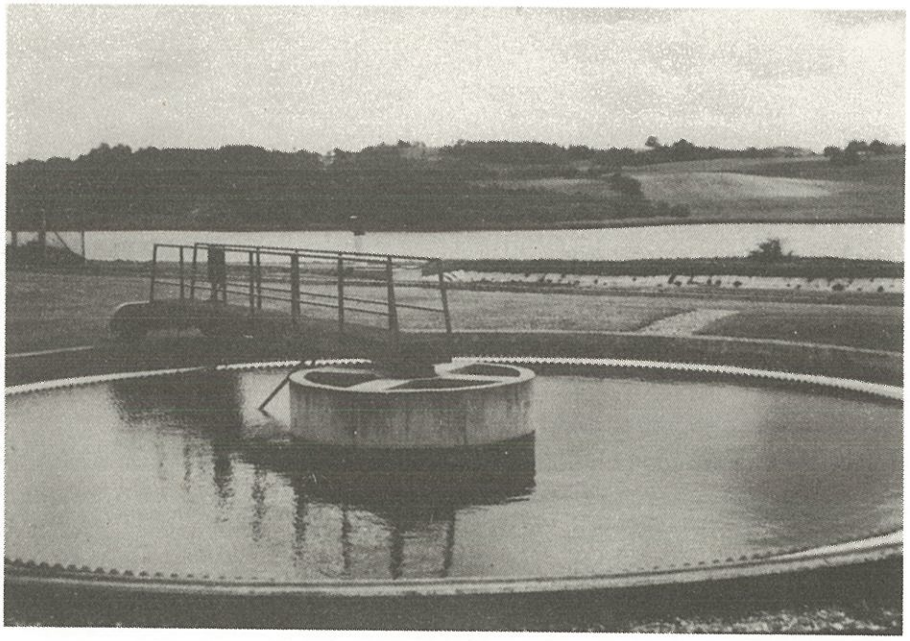
b) der opnås en relativ stor kvalitetsforbedring ved også at kræve fosforfjernelse ved de mindre anlæg - og at denne merudgift kun udgør 8 % af den samlede opgørelse.

Betragtes f.eks. Salten langsø, viser modelberegningerne, at fjernede man al næringsstoftilførsel fra spildevandsudledninger og dambrug (alternativ 7, Salten langsø), ville produktionsforholdene reduceres ca. 50 % og sigtedybden øges 50 %.

Alternativ 1, Salten langsø, der stort set svarer til en reduktion af fosfor i råspildevandet på 90 % samt en omhyggelig dambrugsdrift, vil reducere primærproduktionen 30 % og øge gennemsnitssigtedybden ca. 30 %.

Ovenstående beregninger skal betragtes som eksempler. Det er givet, at f.eks. knap så hårdt belastede recipienter (Mossø, Thorsø m.m.) vil reagere kraftigere på indgreb.

I eksemplerne er regnet uhyre konservativt vedrørende økonomiske forhold. Det vil være naturligt og nødvendigt med en højere detailleringsgrad med henblik på at få en bedre ressourceudnyttelse, når recipientkvalitetsplanlægningen er nået længere frem.



Brædstrup rensningsanlæg - i dag biologisk rensning. Efterklaringstank og i baggrunden Ringsø, der tidligere var recipient for Brædstrup by's spildevand. Spildevandet ledes nu uden om Ringsø til Åstruplund bæk og videre til Gudenåen.

9. SPILDEVANDSPLANLÆGNING 1975 - 2000

I lov om Miljøbeskyttelse § 61 pålægges amtsrådene at foretage undersøgelser og vurderinger af forureningskilder og den forurening, omgivelserne påføres. Amtsrådene skal desuden som recipientansvarlig myndighed samordne og godkende de spildevandsplaner, kommunalbestyrelserne i henhold til § 21 i lov om Miljøbeskyttelse skal udarbejde.

Da fastsættelsen af den tilladelige spildevandsbelastning af recipienterne indebærer en afvejning af væsentlige og til en vis grad modstridende samfundsinteresser - tekniske, økologiske og økonomiske - er det væsentligt, at kendskabet til recipienterne og disses reaktioner på tilførte stoffer er bedst muligt.

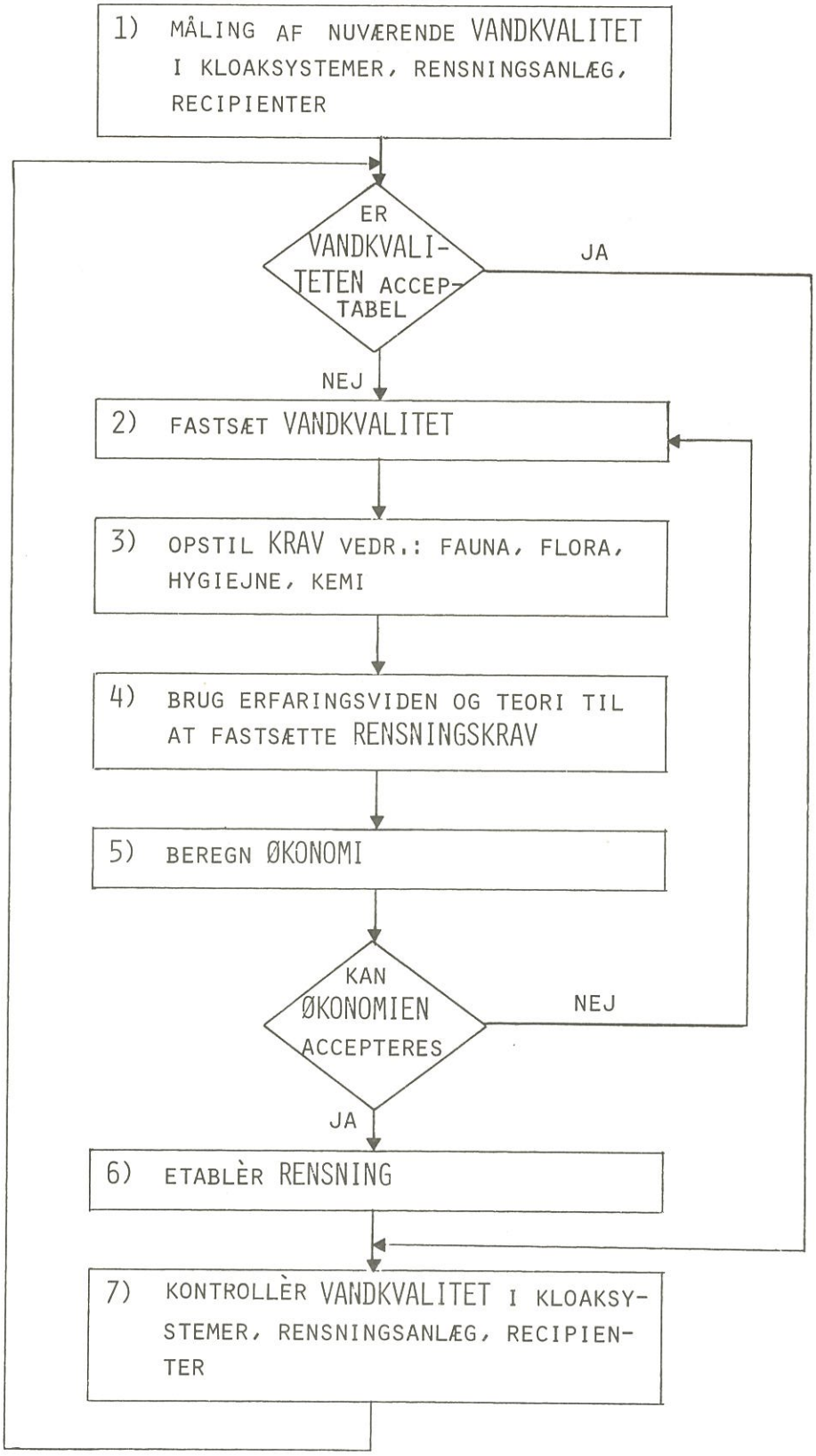
9.1 GUDENÅEN - RECIPIENT - OG SPILDEVANDSPLANLÆGNING

9.1.1 EKSEMPEL PÅ ARBEJDSGANG

I figur 9.1 er angivet et rutediagram, der viser et eksempel på beslutningsprocedure ved vurdering af effekten af en spildevandsudledning.

RUTEDIAGRAMMET

I forbindelse med Gudenåundersøgelsen er der tilvejebragt et bredt kendskab til forureningskilderne og disses stofudledninger samt til recipienterne inden for systemet - rutediagrammets pkt. 1.



Figur 9.1 Eksempel på beslutningsprocedure.

Man kan herefter spørge, om vandkvaliteten er acceptabel. Såfremt svaret er ja, fortsættes kontrollen af vandkvaliteten i systemet - rutediagrammets pkt. 7 - indtil kvaliteten eventuelt vurderes som uacceptabel.

Såfremt vandkvaliteten er uacceptabel, må den ønskede vandkvalitet fastsættes - rutediagrammets pkt. 2, og dette kan udtrykkes i egentlige krav til f.eks. fauna- og florasammensætning, hygiejniske og kemiske forhold - rutediagrammets pkt. 3.

Idet der nu anvendes vandkvalitetsmodeller - erfaringsviden og teori - kan rensningskravene fastsættes, og de økonomiske konsekvenser heraf beregnes - rutediagrammets pkt. 4 og 5.

Herefter vurderes de økonomiske forhold, og kan disse ikke accepteres, må målsætningen for vandkvalitet vurderes på ny. Accepteres de økonomiske konsekvenser derimod, iværksættes rensningsforanstaltningerne - rutediagrammets pkt. 6 - og der gennemføres herefter en kontrol af vandkvaliteten.

Der er således tale om en beslutningsprocedure, der er "uden ende", og som kan justeres, når målsætningen vedrørende vandkvaliteten ændres, når den tilgrundliggende viden forøges, når de tekniske løsninger forbedres eller eventuelt billiggøres etc.

9.1.2 GUDENÅUNDERSØGELSEN - RECIPIENT- OG SPILDEVANDSPLANLÆGNING

Gudenåundersøgelsen kan i denne sammenhæng danne basis for det spildevandsplanlægningsarbejde, de tre amtsråd i Vejle, Viborg og Århus amtskommuner samt de 34 primærkommuner inden for Gudenåafstrømningsområdet skal gennemføre.

Der er i afsnit 7 og 8 gennemgået eksempler på belastnings- og recipientkvalitetssammenhæng, udtrykt ved anvendelse af erfarings- såvel som matematiske modeller.

I et så komplekst system som Gudenåsystemet kan der foretages et uendeligt antal kombinationsmuligheder af vandkvalitetsmålsætninger og vurdering af rensningstekniske indgreb, og de gennemregnede belastningssituationer må derfor kun betragtes som vejledende eksempler.

Til støtte for det forestående planlægningsarbejde er udarbejdet en oversigt, tabel 9.1, der viser de større bysamfunds stofudledninger i relation til recipientforholdene.

Det ses heraf, at de bysamfund, der ligger "øverst" i systemet, har lave fortyndingsindices,

$$\frac{Q_{min}}{Q_{spv}}, \quad \frac{TRP}{P_{spv}} \text{ og } \frac{TRN}{N_{spv}}$$

på grund af de begrænsede afstrømningsarealer.

De procentuelle forøgelser af transporten af organisk stof (BI_5) i recipienten ved udledningerne af spildevand viser rensningsanlæggenes betydning for recipienten med hensyn til organisk stof. Dette sammenholdt

Rensningsanlæg	$\frac{Q_{min}}{Q_{spv}}$	$\frac{TRP}{P_{spv}}$	$\frac{TRN}{N_{spv}}$	Procentforøgelse i BI_5 transporten i vandløbet, som blev fundet i de intensive undersøgelser	Saprobiegrad i vandløbet før udledningen	Saprobiegrad i vandløbet efter udledningen	Relativ hyppighed af E.coli *)	Skønnet minimumsafstrømning Q_{min} l/sek	Recipient, som udledningen er sat i relation til
Tørring	75	7	39	33 %	II	II-III, II		600	Gudenå
Brædstrup	225	8	55,4	(1 %)	I-II	II		2380	
Skanderborg	2,2	0,5	1,9	-	-	-		100	Tåning å
Ry	391	11,4	64,4	-	-	-		5500	
Them	926	84	897	-	-	-		5500	Ry mølle sø
Sejs	302	4,5	22	-	-	-		5500	
Virklund	442	45	190	-	-	-		5500	
Søholt	38	2,1	5,4	-	-	-		6100	Silkeborg Langsø
Hammel	1,7	0,5	0,7	-	-	-		80	Gjern å
Kjellerup	21	2,4	14,4	128 %	II	II-III		570	Tange å
Rødkjærsbro	50	6,9	36	19 %	II	II-III, II		570	
Bjerringbro	152	17	67	1 %	II-III, II	II-III, II		10200	Gudenå
Ulstrup	2200	64	361	2 %	II	II		10200	
Hinnerup	62	3,4	22	-	II	II		1030	Hadsten Lilleå
Hadsten	16	3	16	-	II	**) (III)		1030	
Viborg	15	1	2,2	26 %	II	III		2030	Nørreå

*) Den relative hyppighed af colitallene er angivet ved cirkeludsnittets størrelse: E.coli pr. 100 ml.

< 100 | 100 - 999 | 1000 - 9999 | > 10000

**) Retablering af flora og fauna i åen efter etablering af rensningsanlægget i Hadsten er endnu ikke fuldstændig, hvorfor saprobiegradsbedømmelse er foretaget med forbehold.

Tabel 9.1 Sammenligning mellem forskellige rensningsanlægs påvirkning af Gudenåsystemet. Q_{min} er medianminimumsvandføringen i den nærmest beliggende hovedstation nedstrøms udledning. TRP og TRN er årstransporten af henholdsvis total-fosfor og total-kvælstof i samme station. Q_{spv}, P_{spv} og N_{spv} er udledningsmængder af henholdsvis vand, fosfor og kvælstof.
Den hygiejniske kvalitet, målt som koncentration af E.coli, er i tabellen angivet for den nærmest beliggende station nedstrøms udledningen, hvor E.coli-bestemmelse har fundet sted.

med recipienttilstanden før og efter udledningen, bedømt efter saprobiegraden, der viser, hvor recipientfølsomheden er størst, kan vejlede om , hvor der bør gribes ind.

De beregnede næringsstofindices

$$\frac{TRN}{N_{spv}} \quad \text{og} \quad \frac{TRP}{P_{spv}}$$

viser, hvilke byer der bidrager med de største næringsstofmængder i forhold til nærmeste hovedstations næringsstoftransport.

De hygiejniske forhold ved hovedstationerne afspejler, at der, hvor spildevandet passerer en sø, kan ske et væsentligt bakteriehenfald. Dette viser sig ikke i Gjern å, hvor spildevandsudløb efter Søbygård sø udvisker effekten af søens bakteriereducerende virkning.

Ved recipient- og spildevandsplanlægningen bør alle forureningskilder medtages i bedømmelsen.

Disse er (jf. afsnit 5):

1) Spildevand, bysamfund

2) Spildevand, enkeltudledere, bebyggelser og industrier

3) Spildevand, regnvand fra urbaniserede områder og vejvand

4) Dambrug

5) Diffuse kilder, landbrug.

Forureningskildernes (1 - 5) andel vil ændre sig i takt med befolkningsudviklingen og rensningstekniske indgreb - således bør man især være opmærksom på forureningskilde 3, der i dag især har lokal betydning.

9.2 GUDENÅEN - RECIPIENTKVALITETSPLANER

Amtsrådene har foretaget en foreløbig recipientkvalitetsplanlægning for vandområderne. Formålet med recipientkvalitetsplanerne er at fastsætte en foreløbig målsætning for vandområdernes anvendelse samt ønskede vandkvalitet.

Klassifikationer af recipienterne følger /28/ og kan opdeles:

Søer samt vandløb til søer og lukkede fjorde

Vandløb til åbne bugter og hav

Lukkede fjorde og øvrige lukkede salte og brakke vande

Åbne bugter og hav.

Ved fastsættelse af målsætningen tages der blandt andet hensyn til brugerinteresserne, som kan opdeles i 3 grupper:

1. Offentlige forsyningsinteresser (vandforsyning, afvanding, spildevandsafledning).

2. Samfundsinteresser (rekreative, fredningsmæssige, videnskabelige).

3. Erhvervsinteresser (fiskeri, dambrug, landbrug, industri).

De tre amtsråd med tilknytning til Gudenåsystemet - Vejle, Viborg og Århus amt - har i forbindelse

med foreløbige recipientkvalitetsplaner 1975 angivet målsætningerne stort set efter følgende princip /66/:

A 1 Recipienter af særdeles høj naturvidenskabelig værdi.

A 2 Recipienter der skal være egnede til naturvidenskabelige studier, undervisningsformål og/eller rekreative formål.

B Recipienter der skal være egnede til at kunne anvendes som drikkevand.

C Recipienter der skal være egnede til badning.

D 1 Recipienter der skal være velegnede som gyde-, opvækst- og opholdsvand for laksefisk.

D 2 Recipienter der skal være egnede som gyde-, opvækst- og opholdsvand for andre fisk end laksefisk.

E Recipienter der skal være æstetisk tilfredsstillende.

F Recipienter der skal anvendes til formål, der ikke stiller særlige krav.

9.2.1 VANDLØB

I det følgende vurderes, hvorvidt den nuværende tilstand opfylder de af amterne skitserede foreløbige

recipientkvalitetsplaner.

GUDENÅSYSTEMET FRA UDSPRING TIL MOSSØ

Målsætningen for Gudenåens hovedløb er på den øverste strækning anvendelse som referenceområde af høj naturvidenskabelig værdi samt som gyde- og opvækstområde for laksefisk.

For den resterende strækning indtil Mossø er målsætningen anvendelse som almindeligt fiskevand, herunder opholdsvand for laksefisk, samt at være af naturvidenskabelig og rekreativ værdi. Endelig er målsætningen for denne del af hovedløbet anvendelse til kreatur- og markvanding. Den nuværende tilstand opfylder stort set de skitserede målsætninger for Gudenåens hovedløb fra udspring til Mossø.

Et generelt træk ved målsætningerne for tilløbene er anvendelse som gyde- og opvækstområde for laksefisk. Der er en del småtilløb, der ikke opfylder denne målsætning. Alsted mølleå, som er det eneste større tilløb, opfylder kun målsætningen på en ganske kort strækning inden udløbet i Gudenåen.

GUDENÅSYSTEMET FRA MOSSØ TIL TANGE SØ

Målsætningen for Gudenåens hovedløb fra Mossø til Tange sø er anvendelse som almindeligt fiskevand, herunder opholds- og - hvor biotopforholdene gør det muligt - gydeområde for laksefisk. Strækningen skal ligeledes have videnskabelig og rekreativ værdi.

På strækningen fra Mossø til Gudensø er målsætningen opfyldt. Mellem Silkeborgsøerne og Tange sø er målsætningen ikke helt opfyldt, især ikke efter Silkeborgsøerne, hvor forureningsgraden efter saprobiesystemet ligger mellem grad II og III, og målsætningen er grad II.

For de større tilløbs vedkommende - Salten å, Funder å, Gjern å og Hinge å er målsætningerne anvendelse som gyde-, opvækst- og opholdsvand for laksefisk, samt at de skal have naturvidenskabelig og rekreativ værdi.

Mange strækninger i de fleste af de nævnte tilløb opfylder målsætningerne. Men store dele af især Funder å med forureningsgrader på II - III opfylder ikke målsætningerne. For opfyldelse af målsætningen for Salten å kræves, at forureningsgraden sænkes lidt.

GUDENÅSYSTEMET FRA TANGE SØ TIL RANDERS

Målsætningerne for Gudenåens hovedløb på denne strækning er anvendelse som almindeligt fiskevand samt passage- og opholdsvand for laksefisk. Målsætningen for forureningsgraden er grad II. På visse strækninger især fra Tange sø til Bjerringbro kræves der en sænkning af forureningsgraden, således at den bliver II.

Af større tilløb på denne strækning findes Tange å, Hadsten lilleå og Nørreå. Målsætningen for Tange å er anvendelse som fiskevand generelt, samt at forureningsgraden skal være grad II. Opfyldelse af denne målsætning vil lige efter Kjellerup samt før og lige efter Thorning kræve en forbedring af forureningstilstanden.

For Hadsten lilleå systemet gælder, at målsætningen for selve lilleåen er anvendelse til opholdsvand for laksefisk samt at være af naturvidenskabelig og rekreativ værdi. For sidetilløbene til Hadsten lilleå er målsætningen, at de skal kunne anvendes som gyde- og opvækstområder for laksefisk samt være af særdeles høj videnskabelig værdi. For Hadsten lilleå er målsætningen ved den nuværende tilstand ikke opfyldt, hovedsageligt på grund af spildevandet fra Søften og Hadsten. For tilløbenes vedkommende, Granslev å og Spørring å, opfylder den nuværende tilstand stort set målsætningerne.

For Nørreå er målsætningerne for strækningen inden udledningen af spildevandet fra Viborg (Bruunshåb) samt for den nedre strækning, at den skal være opholdsvand for laksefisk, samt at forureningsgraden skal være II. For strækningen efter Bruunshåb er målsætningen, at Nørreå skal være passagevand samt opholdsvand for mindre krævende fiskearter, og forureningsgraden skal være grad II - III. Til opfyldelse heraf kræves en generel sænkning af forureningsgraden.

9.2.2 SØER

I tabel 9.2 er skematisk vist en oversigt over søerne i Gudenåsystemet. Oversigten indeholder en karakteristik af de enkelte søers nuværende forureningstilstand i A, B eller C søer samt angivelser af amternes foreløbige målsætninger for anvendelse og ønskede vandkvalitet.

Oversigten omfatter stort set alle de søer, der er undersøgt i forbindelse med et eller flere delprojekter i Gudenåundersøgelsen 1973-75 eller forundersøgelsen 1972. Ydermere indeholder oversigten en række mindre søer, der tidligere er undersøgt af Københavns Universitets ferskvandsbiologiske laboratorium og Botanisk Institut, Århus Universitet.

Af de viste 67 søer er fordelingen i A, B og C søer i den nuværende tilstand vist i tabel 9.3. I samme tabel er vist fordeling af søerne efter målsætningerne.

	Nuværende tilstand	Målsætning
A (eller AA)	19	27
B	20	40
C	28	0

Tabel 9.3 Fordeling af Gudenåsystemets søer i A, B og C kategorier.

Nørresø, Viborg.

SØNAVN	UNDERSØGEL. INTENSITET	STATUS 1973-75	EUTROF. 1963-75	MÅLSÆTNING - EFTER 1975 - FORELØBIG RECIPIENTKVALITETSPLAN	
				ANVENDELSE	TILSTAND
		ÅRHUS AMTSKOMMUNE:			
Alling sø	xx	C(B)		A 2 D 2	B
Hinge sø	xxx	C	+	A 2 C D 2	B
Schousbye sø-Hårup sø	(x)	AA		A 1 C D 2	AA
Søbygård sø	xxx	C	+	A 2 D 2	B
Sølund sø-Hadsten	x	A(AA)		A 1 D 2	AA
Almind sø	xxx	A		A 1 C D 2	AA
Avn sø	(x)	B		A 2 C D 2	B
Birk sø	(x)	C		A 2 C D 2	B
Borre sø	x	C(B)	+	A 2 C D 2	B
Bras sø	xxx	C(B)	+	A 2 C D 2	B
Døi sø	x	A(B)		A 2 D 2	A
Elle sø	(x)	C		A 2 D 2	B
Engetved sø	(x)	B		A 2 D 2	B
Gjes sø	(x)	B		A 2 D 2	B
Grane langsø	xx	AA(A?)		A 1 D 2	AA
Guden sø	x	B	+	A 2 C D 2	B
Hund sø	x	A(AA)		A 1 C D 2	AA
Igel sø, Velling	x	A(B?)	(+)	A 1 D 2	AA
Jul sø	x	C(B)	+	A 2 C D 2	B
Kalgård sø, Silkeborg	x	C		A 2 D 2	B
Kalgård sø, Them	xxx	AA		A 1 D 2	AA
Karl sø	xx	B	+	A 2 C D 2	A
Knud sø	xxx	B	+	A 2 C D 2	A
Kong sø	(x)	AA		A 1 D 2	AA
Kul sø	xx	C	+	A 2 C D 2	B
Kvind sø	xx	C	+	A 2 C D 2	B
Bryrup langsø	xx	C	+	A 2 C D 2	B
Lille sø, Silkeborg	(x)	B(A)	(+)	A 2 D 2	A(AA)
Lille sø, Skanderborg	xxx	C	+	A 2 D 2	B
Mos sø	xxx	B	+	A 2 C D 2	B
Mørk sø	(x)	AA		A 1 D 2	AA
Pøt sø	x	C		A 2 D 2	B
Ravn sø	xxx	B	+	A 2 C D 2	A
Ry mølle sø	xxx	C	+	A 2 C D 2	B
Ry lille sø	xxx	C	+	A 2 D 2	B
Ræv sø, ikke Gudenå	(x)	A		A 1 D 2	AA
Salten langsø	xxx	B(C)	+	A 2 D 2	B
Silkeborg langsø	xxx	C	(+)	A 2 C D 2	B
Skanderborg sø	xxx	C	+	A 2 C D 2	B
Slåen sø	xxx	AA		A 1 D 2	AA
Snabe Igelsø	x	AA		A 1 D 2	AA
Sorte sø, Skanderborg	xxx	C	+	A 2 D 2	B
Thor sø	xxx	B(A)		A 2 C D 2	A
Torup sø	xx	C(B)	+	A 2 D 2	B
Ugl sø, Silkeborg	(x)	(B)		A 2 D 2	A
Vejlbo mose	x	(AA)A		A 2 D 2	(AA)
Vejl sø	(x)	C(B)	+	A 2 D 2	B
Venge sø	x	B(C)	+	A 2 D 2	B
Ves sø	x	B		A 2 D 2	(A)B
Ørn sø	xxx	C	(+)	A 2 C D 2	B

Tabel 9.2 fortsættes .....

Tabel 9.2 fortsat

SØNAVN	UNDERSØGEL. INTENSITET	STATUS 1973-75	EUTROF. 1963-75	MÅLSÆTNING - EFTER 1975 FORELØBIG RECIPIENTKVALITETSPLAN	
				ANVENDELSE	TILSTAND
		VEJLE AMTSKOMMUNE:			
Halle sø	xx	C(B)	+	A 2 D 2	C
Stigsholm sø	xx	C(B?)	+	A 2 D 2	B
Vestbirk søerne	x	C	+	A 2 D 2	B
Nedenskov sø	(x)	B(?)		A 2 C D 2	B
Ring sø	x	C		A 2 D 2	B
Blid sø	(x)	A		A 1 D 2	AA
Brude sø	(x)	A		A 1 D 2	AA
Gedde sø	(x)	AA		A 1 C D 2	AA
Krag sø	(x)	AA		A 1 D 2	AA
Stejlholt sø	(x)	AA		A 1 D 2	AA
Væng sø, Addit	x	B(?)		A 2 D 2	B
		VIBORG AMTSKOMMUNE:			
Tange sø	xxx	C	+	C D 2	
Loldrup sø	x	B(?)		D 2	
Nørre sø, Viborg	xxx	B	(+)	C D 2	
Sønder sø, Viborg	xxx	C	(+)	C D 2	
Ved sø	xxx	B	+	C D 2	
Hald sø	xxx	B	+	A 2	

FORKLARING:

SØNAVN : I DE FLESTE TILFÆLDE ANFØRES NAVN SOM PÅ GEODÆTISK INSTITUTS KORT 1 : 50 000

UNDERSØGEL. INTENSITET :
- XXX INTENSIVE KONTROLOBSERVATIONER OG MÅLINGER 1973-75
- XX HYPPIGE KONTROLOBSERVATIONER OG MÅLINGER 1973-75
- X SPREDTE KONTROLOBSERVATIONER OG MÅLINGER 1973-75
- (x) SÆRLIGT ANDRE UNDERSØGELSER. EVENTUELT ARKIV, FBL(KU) ELLER BI(AU) FØR 1972. EVENTUELT HANS MATHIESEN 1961-63.

STATUS 1973-75 : ANGIVES VED DEN KARAKTERISTIK AF SØERS FORURENINGSTILSTAND, SOM ER ANFØRT I MILJØSTYRELSENS PUBLIKATION "MILJØPLANFORUDSÆTNINGER" (1975), NEMLIG:
- AA RENE SØER, SOM IKKE ER SPILDEVANDSRECIPIENTER
- A RENE SØER
- B EUTROFIEREDE SØER
- C STÆRKT EUTROFIEREDE SØER

EUTROF. 1963-75 : + EN REGISTRERET EUTROFIERING

MÅLSÆTNING - EFTER 1975 :
- ANVENDELSE: ANGIVES VED SYMBOLER SOM I ÅRHUS AMTSKOMMUNES "FORELØBIGE RECIPIENTKVALITETSPLAN, 1975" (A 1, A 2, C OG D 2).
- TILSTAND : ANGIVES VED SAMME SYMBOLER OG FORURENINGSKARAKTERISTIK, SOM ER ANVENDT VED BESKRIVELSE AF STATUS 1973-75.

Tabel 9.2 Recipientkvalitetsplanlægning - søer.

N.B. Der er ikke p.t. for søer i Viborg amt fastsat en målsætning forsåvidt angår sigtedybde/primærproduktion, men Gudenåundersøgelsens resultater vil kunne danne grundlag for en rationel fastsættelse af grænseværdier vedrørende vandkvaliteten i disse.

10. KONTROLPROGRAMMER OG SUPPLERENDE UNDERSØGELSER

Amtsrådene skal som ansvarlige myndigheder for recipienterne føre kontrol med spildevandsudledningernes mængder samt kontrollere recipienternes vandkvalitet. Kontrollen vil omfatte rutinekontrolprogrammer, som udføres løbende, samt specielle intensive kontrolprogrammer, der iværksættes i forbindelse med væsentlige indgreb i udledningerne til recipientsystemet.

For at følge Gudenåundersøgelsen op vil det være nødvendigt med supplerende intensive undersøgelser efter etablering af indgreb (øget belastning, ændret rensning, ændret vandføring).

Ved den gennemførte Gudenåundersøgelse er der visse problemer, som ikke er blevet belyst. Dette motiverer, at der suppleres med nogle specielle undersøgelser, se afsnit 10.3.

10.1 RUTINEKONTROLPROGRAMMER

Rutinekontrolprogrammer i Gudenåsystemet bør omfatte følgende målinger:

1) Vandføring / vandskifte

2) Vandkemi

3) Hygiejne

4) Biologi.

Ad 1

Vandførings- og vandskiftemålinger gennemføres ved fortsat drift af de under Gudenåundersøgelsen oprettede hydrometriske stationer. De oprettede stationer, som supplerer det før 1973 eksisterende net, har kun været i drift i 2 år, en alt for kort periode, set i en statistisk sammenhæng. Den antagelse / 9 /, at vandføringssituationen i sommeren 1974 var nær ved medianminimumssituationen for hele systemet, bør undersøges nærmere gennem langtidsobservationer af daglig middelvandføring ved alle nuværende målestationer. Langtidsobservationer af vandstand i søerne er et nødvendigt supplement, når vandskifteberegninger skal foretages.

Ad 2

Vandkemiske målinger, som blev foretaget i 1974 på hovedstationer i Gudenåsystemet, sammenholdt med vandføringsmålinger i de samme stationer, belyser kun et enkelt års stoftransport i systemet. På basis af et enkelt års målinger kan det ikke vurderes, om målingerne er repræsentative, og om der er ændringer i systemets stoftransport. Det vil derfor være formålstjenligt med en opfølgning af de gennemførte stoftransportmålinger for hele systemet, f.eks. hvert tredie og siden hen hvert femte år. Sådanne målinger vil desuden kunne anvendes til vurdering og eventuelt justering af den i afsnit 6 opstillede transportmodel.

Til stoftransportmålinger hvert tredie/femte år vil det være tilstrækkeligt, at prøvestationerne ved følgende lokaliteter bevares:

Gudenå ved Tørring

Gudenå ved Åstedbro

Gudenå ved Voervadsbro

Tåning å ved Fuldbro mølle

Salten å ved Ry bro

evt. Salten å ved Salten bro

Gudenå ved afløb fra Brassø

evt. Funder å ved Funder station

evt. Hinge å } ved tilløb til Gudenå

evt. Gjern å }

Gudenå ved Tvilum bro

Tange å ved Vindelsbæk bro

Gudenå ved Ulstrup

Hadsten lilleå ved Løjstrup

Nørreå ved Vejrumbro

Gudenå ved A 10.

Prøvetagning bør foretages i måleåret mindst een gang pr. måned, og der udtages døgngennemsnitsprøver.

De kemiske tilstandsvariabler, der bør bestemmes, er:

Ufiltreret prøve:

- Total-fosfor
- Total-kvælstof
- Iltforbrug med $KMnO_4$
- pH
- Ledningsevne
- Total alkalinitet
- Total organisk kulstof.

GF/C-filtreret prøve: Total-fosfor

Total-kvælstof

Iltforbrug med $KMnO_4$

Ortho-fosfat

Ammoniak-kvælstof

Nitrat + nitrit-kvælstof

Total organisk kulstof

Ad 3

Den hygiejniske kvalitet i Gudenåsystemet er bestemt i 1974 /19/. Der er skønnet over koncentrationen af E.coli ved A 10 i 1980 og 2000. Som et kontrolprogram for hygiejnisk kvalitet i Gudenåsystemet bør som minimum foretages en E.coli -kontrol ved de nævnte hovedstationer hvert tredie år.

Ad 4

Vurdering efter saprobiesystemet af Gudenåsystemets vandløbsstrækninger må foretages en gang om året på de strækninger, hvor en ændring er at forvente på grund af etablerede indgreb, samt på de strækninger, der er højt prioriterede. På øvrige strækninger vil en kontrol hver tredie år formentlig være tilstrækkelig til at vurdere, om den ønskede kvalitet er opretholdt.

Kontrol af søers kvalitet kan f.eks. omfatte måling af sigtedybde og/eller primærproduktion 8 - 12 gange pr. år. Målingerne bør foretages på det dybeste sted i søerne.

10.2 INTENSIVE KONTROLPROGRAMMER

Intensive undersøgelser skal kontrollere, at en tilstræbt effekt af et indgreb er opnået. Sådanne kontrolprogrammer må formuleres i hver enkelt situation. Et eksempel for vandløb er undersøgelsen af Hadsten lilleå efter etableringen af Hadsten bys rensningsanlæg. Eksempler for søer er undersøgelsen af Skanderborg sø efter udbygning af rensningsanlæg i Skanderborg og undersøgelsen af Silkeborg langsø og Tange sø efter udbygning af Silkeborg rensningsanlæg. Søundersøgelserne omfatter bl.a. stoftilførsler og stoftransporter ud af søerne, på årsbasis, 12-18 gange.

10.3 SUPPLERENDE UNDERSØGELSER

Efter Gudenåundersøgelsen 1973 - 75 er der nogle specielle problemer, som bør belyses yderligere, f.eks. gennem særlige undersøgelser.

10.3.1 VANDLØBSUNDERSØGELSER

I Gudenåundersøgelsen 1973-75, rapport nr. 11, Intensive vandløbsundersøgelser, er der specielt peget på følgende problemer, som burde undersøges:

1. REGNVEJRSSITUATION

I f.eks. Nørreåen er der konstateret ekstraordinære, kraftige stofudledninger under regn. Virkningerne heraf kendes ikke eksakt, men da denne situation

belastningsmæssigt er langt større end tørvejrsbelastningen, må det forventes, at vandkvaliteten under og umiddelbart efter et regnskyl er stærkt forringet.

2. REDUKTION AF VANDFØRING

Det er konstateret, at der f.eks. på strækningen Silkeborg langsø - Kongensbro i korte perioder sker en reduktion i vandføringen på grund af opstemning af vand i Brassø. En analog nedsættelse i vandtransporten kan forventes i forbindelse med oppumpning af åvand til markvanding. De intensive undersøgelser redegør ikke for sådanne kortvarige indgreb i vandtransporten.

3. GRØDEHØSTNING

De intensive undersøgelser redegør ikke for de særlige problemer, der kan opstå i forbindelse med den fysiske gennemførelse af grødehøstning. Der tænkes her på den slamophvirvling, der finder sted ved grødehøstningen, som kan være årsag til transport af organisk stof m.m. ned ad åen i en såkaldt "skidtprop". Samtidigt kan ophvirvling af sediment, som indeholder reducerende stoffer (f.eks. H_2S), bevirke et momentant iltforbrug i åens vand.

4. EKSTREME UDLEDNINGER

I forbindelse med ekstreme udledninger, f.eks. dambrugenes mandagsudskylninger, driftsstop på rensningsanlæg, uheld (væltede tankbiler etc.), bør der foretages kontrolmålinger af udledningernes udbredelse samt mængder, og virkningen i recipienten bør konstateres og kontrolleres.

10.3.2 SØUNDERSØGELSER

For de i Gudenåsystemet beliggende søer foreslås følgende fremtidige undersøgelser:

1. Undersøgelser i Skanderborg sø til belysning af spørgsmålet om, hvorvidt selve udledningsstedet i Hylke sø er hensigtsmæssigt valgt.

   Kontrolobservationer af udviklingen i Sortesø og vedrørende overløb og gennemsivning til Lillesø (under forudsætning af, at Skanderborg kommunes forslag vedrørende afløb fra centralrensningsanlæg gennemføres).

   På et senere tidspunkt udføres undersøgelser vedrørende stoftilførsler til Skanderborg sø fra andre kilder end Skanderborg centralrensningsanlæg.

2. I en årrække udføres rutinemæssige kontrolobservationer vedrørende vandkvalitet i de forskellige afsnit af Mossø, særligt som registrering af gennemsigtighed i sommerperioder og som måling af koncentration af fosfor (total- og fosfat-) i forskellige vanddybder 8 - 12 gange/år.

   Opblanding af Gudenåen i Mossø bør belyses for forskellige vind- og temperatursituationer, se afsnit 4.

3. Der gennemføres intensive undersøgelser, som kan belyse fosfortilførslen til Ravn sø med bl.a. tilløbene Knud å, Hyltebæk og Javngyde bæk; desuden undersøges fosforkilderne til Knudsø.

4. Under de nu eksisterende recipientforhold for Søbygård sø (med tilledning af mekanisk-biologisk renset byspildevand til en stærkt eutrofieret sø med store slammængder) udføres kontrol særligt med hensyn til: vandkvalitet i søen til alle årstiden og søens effekt på vandløb nedstrøms.

5. Under vinterperioder med frost og/eller stor vandføring udføres kontrolobservationer vedrørende eventuelt overløb af spildevand fra Vinding til Kringelbæk og til Bryrup søerne.

10.4 ANDRE UNDERSØGELSER

1. Undersøgelse af fiskebestanden, som er gennemført i Gudenåundersøgelsen, bør følges op, f.eks. hvert 10. år.

2. Hvert femte år bør der undersøges for tungmetaller i fisk og/eller sedimentprøver i de store søer i systemet.

   Begge disse undersøgelser skal klarlægge langtidsændringer (trends).

3. Undersøgelse af grødeskæringens effekt på nedstrøms liggende søer. Der tænkes specielt på effekten på Tange sø af grødeskæring på strækningen Resenbro - Kongensbro. Et sådant projekt bør udføres som to intensive målinger på både vandløbsstrækning og sø henholdsvis før og efter grødeskæring i vandløbet.

11. LITTERATURLISTE

/1/ Botanisk Institut, Århus Universitet
Gudenåundersøgelsen 1973 - 75
Eutrofiering af Mossø.
Gudenåudvalget 1976, rapport nr. 21.

/2/ Botanisk Institut, Århus Universitet
Gudenåundersøgelsen 1973 - 75
Gudenåsystemets søer.
Gudenåudvalget 1976, rapport nr. 25.

/3/ Botanisk Institut, Århus Universitet
Gudenåundersøgelsen 1973 - 75
Sedimentkarakteristik.
Gudenåudvalget 1976, rapport nr. 22.

/4/ Botanisk Institut, Århus Universitet
Gudenåundersøgelsen 1973 - 75
Botanisk-økologiske undersøgelser over vandløbsvegetationen i udvalgte Gudenå-vandløb, Spørring å, Lilleå og Mattrup å.
Gudenåudvalget 1976, rapport nr. 23.

/5/ Botanisk Institut, Århus Universitet
Gudenåundersøgelsen 1973 - 75
Kilder og øvre vandløbsstrækninger.
Gudenåudvalget 1976/77, rapport nr. 24.

/6/ Cowiconsult for
Vandkvalitetsinstituttet, ATV
Gudenåundersøgelsen 1973 - 75
Alternative rensningsforanstaltninger, økonomiske overslag, 1976.

/7/ Dahl, Knud
Langs Gudenåen.
P. Haase og søn, Kbh. 1960.

/8/ Dahl-Madsen, K.I. og Simonsen, J.
Vandløbssimulering.
Forskningsrapport fra Vandkvalitetsinstituttet og Laboratoriet for teknisk Hygiejne, DtH, 1974.

/9/ Det danske Hedeselskab
Gudenåundersøgelsen 1973 - 75
Slutrapport vedr. Vandførings- og vandstandsmålinger.
Gudenåudvalget 1976, rapport nr. 27.

/10/ Det danske Hedeselskab
Gudenåundersøgelsen 1973 - 75
Landbrugets potentielle bidrag til vandløbs næringssaltsbelastning. En undersøgelse i to oplande til Gudenåen.
Gudenåudvalget 1976, rapport nr. 28.

/11/ Ferskvandsbiologisk Laboratorium,
Københavns Universitet
cand.scient. Erik Mortensen
Gudenåundersøgelsen 1973 - 75
Forekomst og bestandstætheder af ferskvandsfisk i Gudenåsystemet.
Gudenåudvalget 1976, rapport nr. 18.

/12/ Ferskvandsbiologisk Laboratorium,
Københavns Universitet
cand.scient. Erik Mortensen
Populationsdynamiske og produktionsbiologiske undersøgelser af vandløbsfisk i småvandløb.
Gudenåudvalget 1976/77, rapport nr. 19.

/13/ Ferskvandsbiologisk Laboratorium,
Københavns Universitet og
Botanisk Institut, Århus Universitet
Gudenåundersøgelsen 1973 - 75
Kartering af rørsump- og flydebladsvegetation i udvalgte søer i Gudenåsystemet.
Gudenåudvalget 1976, rapport nr. 26.

/14/ Forureningsrådet
Forureningskilder.
Publikation nr. 10, 1971.

/15/ Forureningsrådet
Recipientforhold.
Publikation nr. 12, 1971.

/16/ Gargas, Ejvind
A Manual for Phytoplancton Primary Produktion Studies in the Baltic.
The Baltic Marine Biologists Publication No. 2, Water Quality Institute, 1975.

/17/ Gudenåundersøgelsen
Forundersøgelser 1972, Fællesrapport.
Gudenåudvalget 1973, rapport nr. 2.

/18/ Hygiejnisk Institut, Århus Universitet
Gudenåundersøgelsen 1973 - 75
Undersøgelse i Gudenåen for forekomst af DDT og PCB (polychlorerede biphenyler).
Gudenåudvalget 1976, rapport nr. 29.

/19/ Hygiejnisk Institut, Århus Universitet
Gudenåundersøgelsen 1973 - 75
Hygiejnisk vurdering af Gudenåen.
Gudenåudvalget 1976, rapport nr. 29.

/20/ Isotopcentralen, ATV
Gudenåundersøgelsen 1973 - 75
Måling af opblanding af Gudenåens vand i Mossø den 27.6.1974.
Gudenåudvalget 1975, rapport nr. 30.

/21/ Isotopcentralen, ATV
Gudenåundersøgelsen 1973 - 75
Kviksølv i sediment og fisk.
Gudenåudvalget 1976, rapport nr. 31.

/22/ Jensen, Carlo F.
Personlig kommunikation.

/23/ Jensen, Jørn
Biologisk vurdering af typiske og atypiske vandløb.
Stads- og Havneingeniøren, 12, 1972.

/24/ Laboratoriet for Fysisk Geografi,
Geologisk Institut, Århus Universitet
Gudenåundersøgelsen 1973 - 75
Materialtransporter i Gudenåen.
Gudenåudvalget 1976, rapport nr. 32.

/25/ Laboratoriet for teknisk Hygiejne for Vandkvalitetsinstituttet, ATV
Gudenåundersøgelsen 1973 - 75
Fordampningsundersøgelser (Vand- og varmebalance), Mossø.
Gudenåudvalget 1976, rapport nr. 20.

/26/ Lønholdt, J.
Næringssaltkilder.
Tionde Nordiska Symposiet om Vattenforskning, Værløse, 20. - 22. maj 1974.

/27/ Margalef, R.
La teoria de la informacion en ecologia.
Mem. Real Acad. Ciencias y Artes de Barcelona, 32, 377-449, 1957.

/28/ Miljøstyrelsen
Vejledende bestemmelser for udledning af spildevand.
Miljøstyrelsens vejledning nr. 6, 1974.

/29/ Miljøstyrelsen
Miljøplanforudsætninger. Signaturer til recipientkvalitets- og spildevandsplaner.
1. Delrapport, Miljøstyrelsen, juni 1975.

/30/ Miljøteknisk Brancheforening
Brev af 26. februar 1976.

/31/ Nielsen, K.S. and Nyholm, N.
The Contribution of Nutrients from Diffuse Sources.
IAWPR-Conference on nitrogen as a water pollutant, Copenhagen, August 1975.

/32/ Pauly, H. og Simonsen, A.
Kommunalt spildevandsslam.
Mineralogisk Institut, Lyngby, marts 1973.

/33/ Shannon, C.E. and Weaver, W.
The Mathematical Theory of Communication.
University of Illinior Press, Urbana, 117 pp, 1963.

/34/ Silkeborg kommune
Pejlinger af dyndlag i Silkeborg langsø.
Materiale fra stadsingeniørens kontor i Silkeborg, 1975.

/35/ Sládecek, V.
System of Water Quality from the Biological Point of View.
Ergebnisse der Limnologie Arkiv für Hydrobiologie, Beiheft 7. Stuttgart, 1973.

/36/ Simonsen, J. og Dahl-Madsen, K.I.
Vandløbsmodeller
Vand 2, 1976.

/37/ Steemann Nielsen, E.
The Use of Radioactive (^{14}C) for Measuring Organic Production in the Sea.
J. Cons. Perm. Int. Explor. Mer. 18, 117-140, 1952.

/38/ Vandkvalitetsinstituttet, ATV
Gudenåen. Forundersøgelse 1972.
Vandkvalitetsinstituttet, 1973.

/39/ Vandkvalitetsinstituttet, ATV
Brende Å undersøgelsen 1973.

/40/ Vandkvalitetsinstituttet, ATV
Værebro Å undersøgelsen 1973 - 74.

/41/ Vandkvalitetsinstituttet, ATV
Biokemiske analysemetoder til hæmningsundersøgelser af industrispildevand og driftskontrol af biologiske rensningsanlæg.
Analysekursus den 13. januar 1976.

/42/ Vandkvalitetsinstituttet, ATV
Gudenåundersøgelsen 1973 - 75
Projektbeskrivelse for Gudenåundersøgelsen 1973 - 75.
Gudenåudvalget 1972.

/43/ Vandkvalitetsinstituttet, ATV
Gudenåundersøgelsen 1973 - 75
Interkalibreringsrapport. Vandanalyser.
Gudenåudvalget 1974.

/44/ Vandkvalitetsinstituttet, ATV
Gudenåundersøgelsen 1973 - 75
Interkalibreringsrapport. Sedimentanalyser.
Gudenåudvalget 1974.

/45/ Vandkvalitetsinstituttet, ATV
Gudenåundersøgelsen 1973 - 75
Hospitalsspildevand.
Gudenåudvalget 1975, rapport nr. 4.

/46/ Vandkvalitetsinstituttet, ATV
Gudenåundersøgelsen 1973 - 75
Undersøgelse af spildevand fra papir- og papfabrikker.
Gudenåudvalget 1976, rapport nr. 5.

/47/ Vandkvalitetsinstituttet, ATV
Gudenåundersøgelsen 1973 - 75
Spildevandsundersøgelse af Post Fjerkræslagteri i Holmstol.
Gudenåudvalget 1975, rapport nr. 6.

/48/ Vandkvalitetsinstituttet, ATV
Gudenåundersøgelsen 1973 - 75
Spildevandsundersøgelser.
Gudenåudvalget 1976, rapport nr. 7.

/49/ Vandkvalitetsinstituttet, ATV
Gudenåundersøgelsen 1973 - 75
Dambrugsregistrering. Belastning fra dambrug.
Gudenåudvalget 1976, rapport nr. 8.

/50/ Vandkvalitetsinstituttet, ATV
Gudenåundersøgelsen 1973 - 75
Undersøgelser af Salten å.
Gudenåudvalget 1976, rapport nr. 9.

/51/ Vandkvalitetsinstituttet, ATV
Gudenåundersøgelsen 1973 - 75
Intensive vandløbsundersøgelser i Nørreå.
Gudenåudvalget 1973, rapport nr. 10.

/52/ Vandkvalitetsinstituttet, ATV
Gudenåundersøgelsen 1973 - 75
Intensive vandløbsundersøgelser.
Gudenåudvalget 1976, rapport nr. 11.

/53/ Vandkvalitetsinstituttet, ATV
Gudenåundersøgelsen 1973 - 75
Stoftransport i Gudenåsystemet.
Gudenåudvalget 1976, rapport nr. 12.

/54/ Vandkvalitetsinstituttet, ATV
Gudenåundersøgelsen 1973 - 75
Vandløbsbiologi.
Gudenåudvalget 1976, rapport nr. 13.

/55/ Vandkvalitetsinstituttet, ATV
Gudenåundersøgelsen 1973 - 75
Søundersøgelser.
Gudenåudvalget 1976, rapport nr. 14.

/56/ Vandkvalitetsinstituttet, ATV
Gudenåundersøgelsen 1973 - 75
Algevækstforsøg.
Gudenåudvalget 1976, rapport nr. 15.

/57/ Vandkvalitetsinstituttet, ATV
Gudenåundersøgelsen 1973 - 75
Sømodeller.
Gudenåudvalget 1976, rapport nr. 16.

/58/ Vandkvalitetsinstituttet, ATV
Gudenåundersøgelsen 1973 - 75
Regnvandsundersøgelser.
Gudenåudvalget 1976, rapport nr. 17.

/59/ Vandkvalitetsinstituttet, ATV
Vandløbsmodel Nørreå. Alternativberegninger, 1976.

/60/ Vejle amtskommune, amtsvandvæsenet
Vandforureningstilstanden i Vejle amt, 1970.

/61/ Viborg amtskommune, amtsvandvæsenet
Oversigt over forurening af vandløb i Viborg amt, 1971.

/62/ Zoologisk Institut, Århus Universitet
Gudenåundersøgelsen 1973 - 75
Kildeundersøgelser.
Gudenåudvalget 1976, rapport nr. 33.

/63/ Zoologisk Institut, Århus Universitet
Dambrugsundersøgelse. Undersøgelse af Mattrup å, 1972 og 1973 - 75.

/64/ Zoologisk Institut, Århus Universitet
Gudenåundersøgelsen 1973 - 75
Rapport over dambrugsundersøgelsen i forbindelse med Gudenåundersøgelsen 1973 - 75.
Gudenåudvalget 1976, rapport nr. 34.

/65/ Århus amtskommune, amtsvandvæsenet
Oversigt over forureningstilstanden i amtsvandløbene 1970 - 71.

/66/ Århus amtskommune, amtsvandvæsenet
Foreløbig recipientkvalitetsplan
Århus amtskommune, amtsvandvæsenet 1976.

/67/ McGrath, C.J.
En oversigt over nogle af de vigtigste faktorer, der har været medvirkende til laksens forsvinden fra Gudenåen samt forslag til ophjælpningsforanstaltninger.
Danmarks Sportsfiskeriforbund 1972.

12. ORDFORKLARING

AEROB: Miljø, hvor der er ilt til stede. Kan også betyde iltkrævende.

ANAEROB: Miljø, hvor der ikke er ilt til stede. Kan også betyde ikke-iltkrævende.

ATTENUATION: Lysdæmpning, her udtrykt som dæmpningsfaktoren (ekstinktionskoefficienten) for grønt lys (m^{-1}).

BI_5 (BOD_5): 5 døgns biokemisk iltforbrug. Det antal mg ilt pr. liter, som en vandprøve (vandets organismer) forbruger i en 5-døgns periode til biokemisk iltning af det organiske stof i vandet.

BIOTOP: Levested for givne arter af dyr og planter karakteriseret af bestemte fysisk-kemiske forhold.

COD (Chemical Oxygen Demand): Den iltmængde (mg pr. liter), der skal anvendes til iltning af organisk stof ved anvendelse af permanganat eller dichromat. En enklere og mindre karakteriserende måling and BI_5.

DATABASE: Datalager, som er tilgængeligt for behandling med forskellige edb-programmer.

DEPOSITFEEDERS: Dyr der lever af sedimenteret organisk materiale.

EPILIMNION: Se lagdeling.

EUTROF: Betegnelse for en næringsrig sø. I en eutrof sø kan der produceres stor biomasse (se desuden oligotrof).

FAUNADIVERSITET: Forholdet mellem antal dyrearter og antal individer af hver art.

F A O: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

F D A: Food and Drug Administration, U.S.A.

FOTOSYNTESE: Opbygning af organisk stof under anvendelse af kuldioxyd, vand og sollys. Klorofyl er katalysator.

GYTJE: Sediment med stort indhold af såvel organisk som uorganisk stof.

HELOKREN: Sumpkilde (se 4.20).

HYDROLOGI: Læren om vandet og dets kredsløb.

HYPOLIMNION: Se lagdeling.

ILTSVIND: På grund af spildevandets indhold af organisk stof vil der, når dette udledes i recipienten, ske en biologisk nedbrydning, hvortil der medgår ilt. Denne iltmængde tages fra vandets opløste ilt. Når iltforbruget sker hurtigere end geniltningen, d.v.s. tilførslen af ilt fra atmosfæren, vil iltkoncentrationen falde. Dette fald benævnes iltsvind.

LAGDELING: I naturlige vande - have, fjorde, søer og langsomt strømmende vandløb - er der mulighed for lagdeling. Denne opstår ved vægtfyldeforskelle i vandmasserne og kan være betinget af termiske eller kemiske forhold. Specielt for søer benyttes følgende inddeling:

epilimnion - øverste lag
metalimnoin - springlaget
hypolimnion - nederste lag.

LIMNOKREN: Bassinkilde (se 4.20).

MATEMATISK MODEL: Sæt af matematiske udtryk (ligninger), der beskriver forhold, f.eks. i naturen. Kan anvendes til forudberegninger af variationer af forskellige forhold i naturen. Beregningerne foretages normalt på et edb-anlæg.

OLIGOTROF: Første stadium i søers udvikling. Søen har et lavt indhold af næringsstoffer, og den organiske produktion er lav. Stadier i søers udvikling:

oligotrof - lidt næring
mezotrof - middel næring
eutrof - rigelig næring

(Desuden benyttes betegnelsen "den brunvandede" eller "dystrofe" sø, om søer med et højt indhold af humusstoffer.)

PERSONÆKVIVALENT (forkortet PE): En forurenings-mængde svarende til forureningsmængden fra en person. En personækvivalent bruges sædvanligvis om nedbrydeligt, organisk stof, hvor 1 PE = 60 g BI_5 pr døgn.

PLANTENÆRINGSSTOFFER: Især fosfor- og kvælstofforbindelser.

PLANTEPLANKTON: Små, oftest mikroskopiske en- eller fåcellede alger, der svæver i vandet, og hvis eventuelle egenbevægelse er så ringe, at den intet betyder i forhold til strømningerne i vandet.

PRIMÆRPRODUKTION: Dannelse af organisk stof ved fotosyntese.

RECIPIENT: Fællesbenævnelse for vandsystemer (vandløb, søer, havområder), som modtager spildevand.

RHEOFIL: Strømelskende, betegnelse for dyr der foretrækker strømmende vand.

RHEOKREN: Strømkilde (se 4.20).

RENSEANLÆG: Bygningsværker, hvor der sker en reduktion af spildevandets forurenende indhold. Der skelnes mellem:

1-trins rensning:	Mekanisk adskillelse af bundfældelige stoffer og grovere partikler.
2-trins rensning:	Mekanisk rensning + biologisk rensning til reduktion af organisk materiale.
3.trins rensning:	Mekanisk rensning + biologisk rensning + kemisk fældning af fosfater.
4-trins rensning:	Mekanisk rensning + biologisk rensning + kemisk fældning + fjernelse af kvælstofforbindelser og/eller fjernelse af tunge metaller.

De fire rensningstrin kan desuden kombineres på forskellig måde.

SAPROBIESYSTEM: Sapros ~ rådden. Vurderingssystem, her baseret på faunaen i vandløbene til fastsættelse af forureningsgraden.

SEDIMENT: Bundaflejring.

SMOLT: Laks i udvandringsstadiet efter opvækst i ferskvand.

SPRINGLAG: Vandlag mellem to vandmasser med forskellige kemiske eller fysiske egenskaber (f.eks. iltindhold, temperatur, vægtfylde).

STANDING CROP: Her, overjordisk biomasse, f.eks. sivbevoksning.

SUBMERS: Under vand.

SUSPENDERET STOF: Opslemmet stof.

TRANSPARENS (sigtedybde): Den dybde, hvor en cirkulær hvidmalet skive bliver usynlig ved nedsænkning i en vandmasse. Sigtedybden vil f.eks. have en sammenhæng med algekoncentrationen.

W H O: World Health Organization, United Nations.

ØKOLOGI: Læren om organismernes afhængighed af hinanden og af miljøet.

B I L A G 1 :

OVERSIGT OVER

D E L T A G E N D E I N S T I T U T T E R

OG A F L E V E R E D E R A P P O R T E R

Botanisk Institut
Århus Universitet
Nordlandsvej 68
8240 Risskov

	Rapport nr.
Eutrofiering af Mossø.	21
Sedimentkarakteristik.	22
Botanisk-økologiske undersøgelser over vandløbsvegetationer i udvalgte Gudenåvandløb.	23
Kilder og øvre vandløbsstrækninger.	24
Gudenåsystemets søer.	25
Kartering af rørsumps- og flydebladsvegetation i udvalgte søer i Gudenåsystemet. (Sammen med Ferskvandsbiologisk Laboratorium, Københavns Universitet).	26

Cowiconsult A/S
Jægersborg Allé 14
2920 Charlottenlund

Alternative rensningsforanstaltninger, økonomiske overslag.	-

Det danske Hedeselskab, Slagelse
Hydrometriske Undersøgelser
Nytorv 13
4200 Slagelse

Rapport nr.

Slutrapport vedr. vandførings- og vandstandsmålinger. 27

Det danske Hedeselskab, Viborg
Hjultorvet
8800 Viborg

Landbrugets potentielle bidrag til vandløbs næringssaltbelastning. En undersøgelse i to oplande til Gudenåen. 28

Ferskvandsbiologisk Laboratorium
Københavns Universitet
Helsingørgade 51
3400 Hillerød

Populationsdynamiske og produktionsbiologiske undersøgelser af vandløbsfisk i småvandløb. 18

Forekomst og bestandtætheder af ferskvandsfisk i Gudenåsystemet. 19

Kartering af rørsumps- og flydebladsvegetation i udvalgte søer i Gudenåsystemet. 26
(Sammen med Botanisk Institut, Århus Universitet).

Hygiejnisk Institut
Århus Universitet
Universitetsparken
8000 Århus C.

	Rapport nr.
Undersøgelse i Gudenåen for forekomst af DDT og PCB (polychlorerede biphenyler).	29
Hygiejnisk vurdering af Gudenåen.	

Isotopcentralen
Skelbækgade 2
1717 København V.

Måling af opblanding af Gudenåens vand i Mossø den 27.6.1974.	30
Kviksølv i sediment og fisk.	31

Laboratoriet for Fysisk Geografi
Geologisk Institut
Århus Universitet
8000 Århus C.

Materialtransport i Gudenåen.	32
Søbygårdsø.	

Laboratoriet for teknisk Hygiejne
Danmarks tekniske Højskole
Bygning 115
2800 Lyngby

	Rapport nr.
Fordampningsundersøgelser (Vand- og varmebalancer), Mossø.	20

Zoologisk Institut
Århus Universitet
Laboratorium B
Ny Munkegade
8000 Århus C.

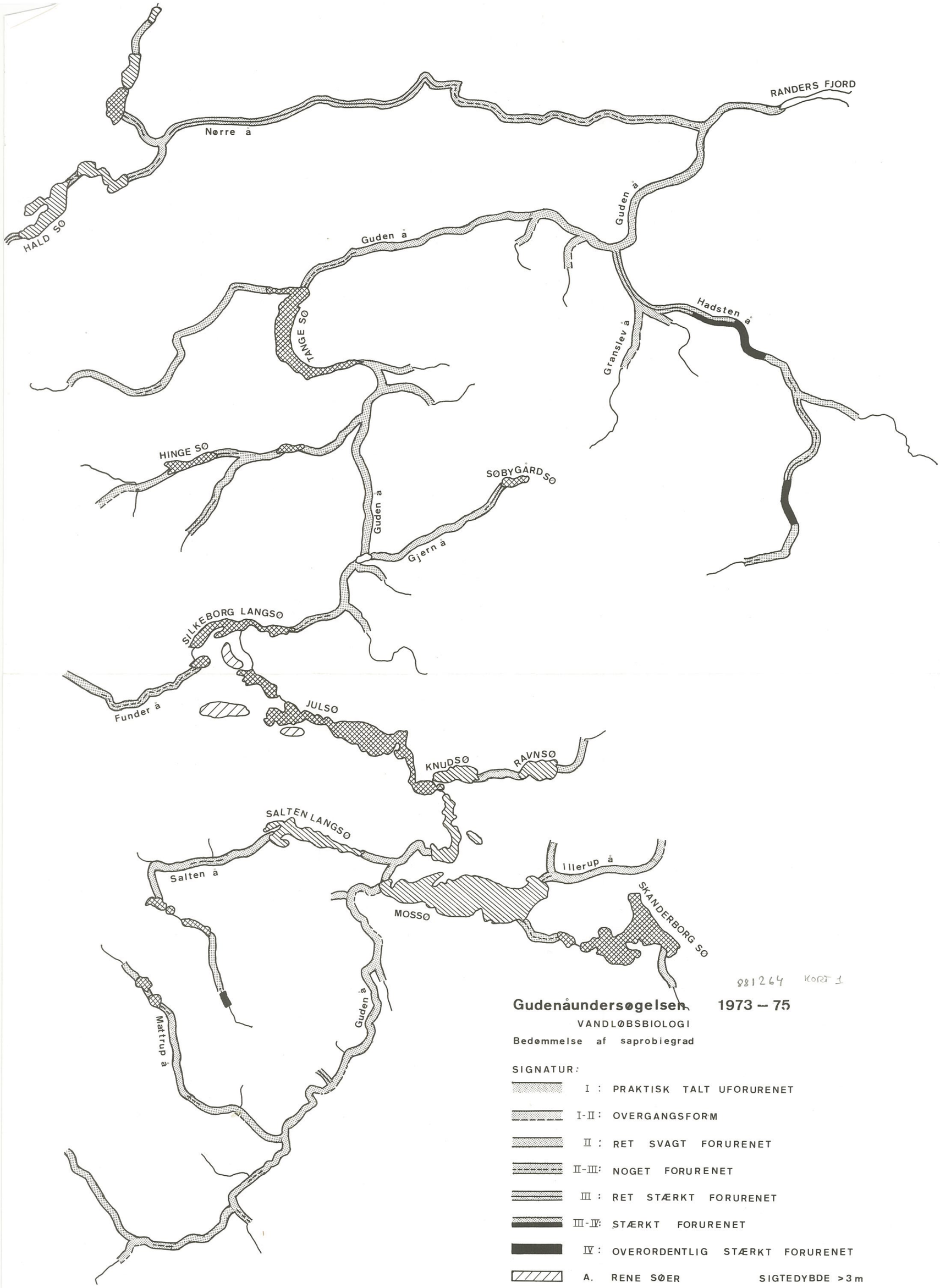
Kildeundersøgelser.	33
Rapport over dambrugsundersøgelsen i forbindelse med Gudenåundersøgelsen 1973 - 75.	34

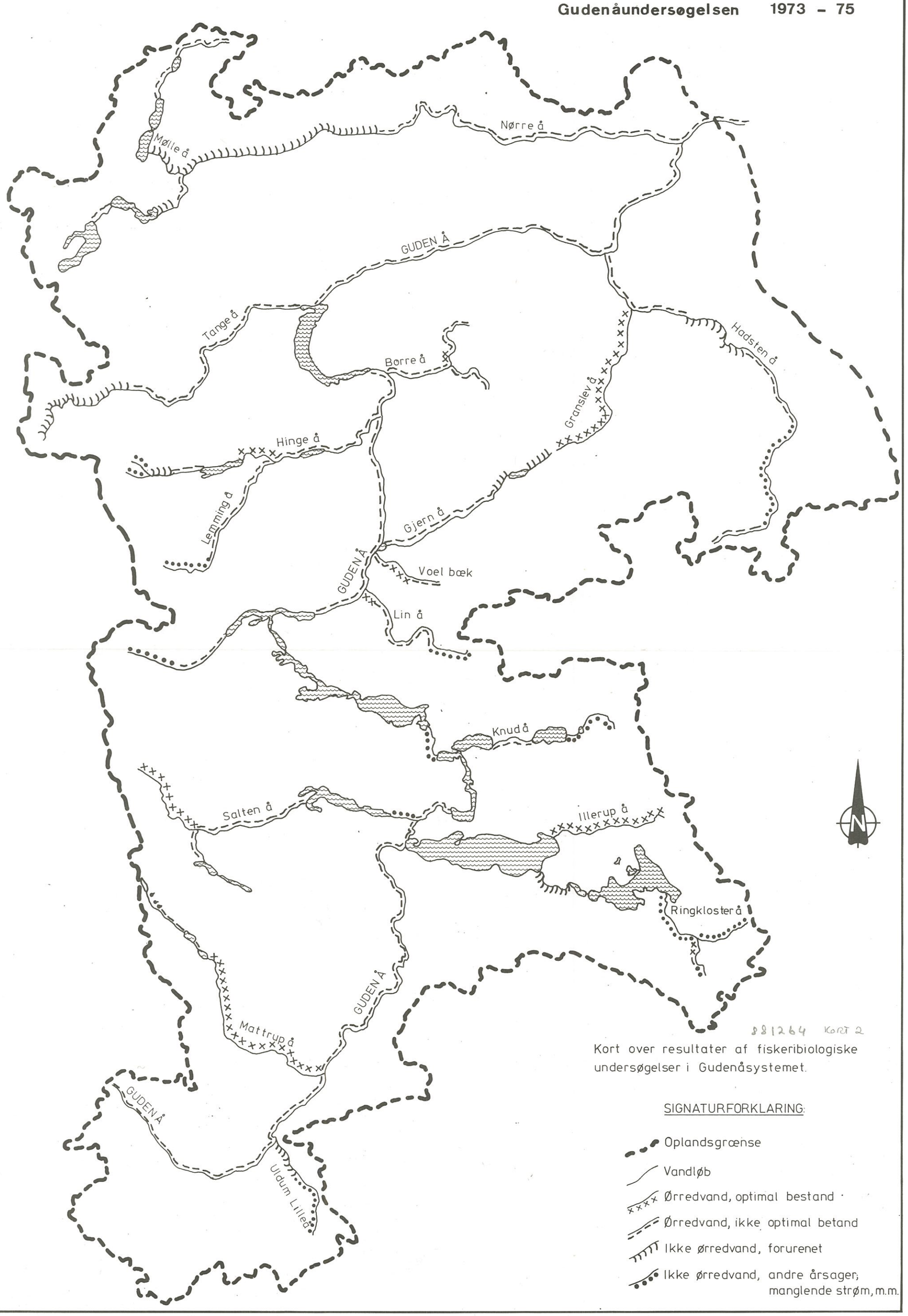
Vandkvalitetsinstituttet, ATV
Agern Allé 11
2970 Hørsholm

Interkalibreringsrapport. Vandanalyser.	-
Interkalibreringsrapport. Sedimentanalyser.	-
Hospitalsspildevand.	4

	Rapport nr.
Undersøgelse af spildevand fra pap- og papirfabrikker.	5
Spildevandsundersøgelse af Post Fjerkræslagteri i Holmstol.	6
Spildevandsundersøgelser.	7
Dambrugsregistrering. Belastning fra dambrug.	8
Undersøgelser af Salten å.	9
Intensive vandløbsundersøgelser i Nørreå.	10
Intensive vandløbsundersøgelser.	11
Stoftransport i Gudenåsystemet.	12
Vandløbsbiologi.	13
Søundersøgelser.	14
Algevækstforsøg.	15
Sømodeller.	16
Regnvandsundersøgelser.	17

eks. 2


RANDERS FJORD
Nørre å
HALD SØ
Guden å
Guden å
Guden å
TANGE SØ
Hadsten å
Gransley å
HINGE SØ
SØBYGÅRD SØ
Guden å
Gjern å
SILKEBORG LANGSØ
Funder å
JULSØ
KNUDSØ
RAVNSØ
SALTEN LANGSØ
Salten å
Illerup å
MOSSØ
SKANDERBORG SØ
Guden å
Mattrup å
881264 KORT 1
Gudenåundersøgelsen 1973 – 75
VANDLØBSBIOLOGI
Bedømmelse af saprobiegrad
SIGNATUR:
I : PRAKTISK TALT UFORURENET
I-II : OVERGANGSFORM
II : RET SVAGT FORURENET
II-III : NOGET FORURENET
III : RET STÆRKT FORURENET
III-IV : STÆRKT FORURENET
IV : OVERORDENTLIG STÆRKT FORURENET
A. RENE SØER SIGTEDYBDE >3 m
B. EUTROFIEREDE SØER – >1<3 m
C. STÆRKT – – – <1 m



Kort over resultater af fiskeribiologiske undersøgelser i Gudenåsystemet.