

---

RAPPORT NR. 12

---



---

GUDENÅUNDERSØGELSEN  
Stoftransport

---

G U D E N A U N D E R S Ø G E L S E N

1973 - 1975

STOFTRANSPORT

VANDKVALITETSINSTITUTTET, ATV  
Agern Allé 11, 2970 Hørsholm

Sagsnr.: 25.4.161  
1976-07-20 LR-WF-WWT

Sagsbehandlere:

Civ.ing. Svend Dige Pedersen  
Civ.ing. Poul B. Heise

## I N D H O L D S F O R T E G N E L S E

	SIDE
1. INDLEDNING	1
2. FORMÅL	2
3. UNDERSØGELSENS GENNEMFØRELSE	3
3.1 MÅLEPROGRAM	3
3.2 MÅLETEKNIK	10
3.3 ANALYSERING	10
4. RESULTATER - DØGNVARIATIONER	12
5. RESULTATER - ÅRSVARIATIONER/ ÅRSTRANSPORTER 1974	23
5.1 SAMMENHÆNG MELLEM VANDFØRING OG STOFKONCENTRATIONER PÅ ÅRSBASIS	38
5.2 STOFADFSTRØMNING FRA SKOV- OG LAND- BRUGSOMRÅDER	47
6. RESULTATER - ÅRSTRANSPORTER 1974	50
6.1 TRANSPORTER - ÅRSOPGØRELSE	50
6.2 FORDELING AF STOFTRANSPORT	53
6.3 STOFTRANSPORTREDUKTION I Å/SØSTRÆKNINGER	69
6.4 STOFOMSÆTNINGER I GUDENÅSYSTEMETS SØER	72

I N D H O L D S F O R T E G N E L S E

	SIDE
7. SAMMENFATNING	82
8. REFERENCER	91
BILAG 1	B 1
BILAG 2	B 82
BILAG 3	B 84

## 1. INDLEDNING

I Gudenåundersøgelsen 1973-75 indtager måling af stoftransporter gennem Gudenåsystemet en central placering. Stoftransporten i systemet er afhængig af følgende faktorer:

Spildevandsbelastning

Dambrugsbelastning

Belastning fra oplandsafstrømning

Selvrensningsevne i åstrækningerne

Akkumulering/udvaskning af stof i/fra søerne.

Spildevandsbelastning, dambrugsbelastning, belastning fra afstrømning og selvrensningsevnen i åstrækningerne er undersøgt separat ved delundersøgelser, som er rapporteret i /1/, /2/, /3/, /4/. Denne rapport beskriver stoftransportmålingerne ved hovedstationerne i Gudenåsystemet, samt den samlede stoftransport i systemet i undersøgelsesperioden.

## 2. FORMAL

Formålet med undersøgelsen var at skaffe kendskab til:

Stoftransporten ved hovedstationerne i åsystemet

Stoftransporten til og fra søerne

Stofomsætningen i åstrækninger og søer, beliggende mellem hovedstationer.

På basis af disse informationer opstilles og kalibreres en stoftransportmodel til vurdering af stofbelastningen og omsætningen i Gudenåsystemet.



Gudenå ved Langå, hovedstation LAN.

### 3.           UNDERSØGELSENS GENNEMFØRELSE

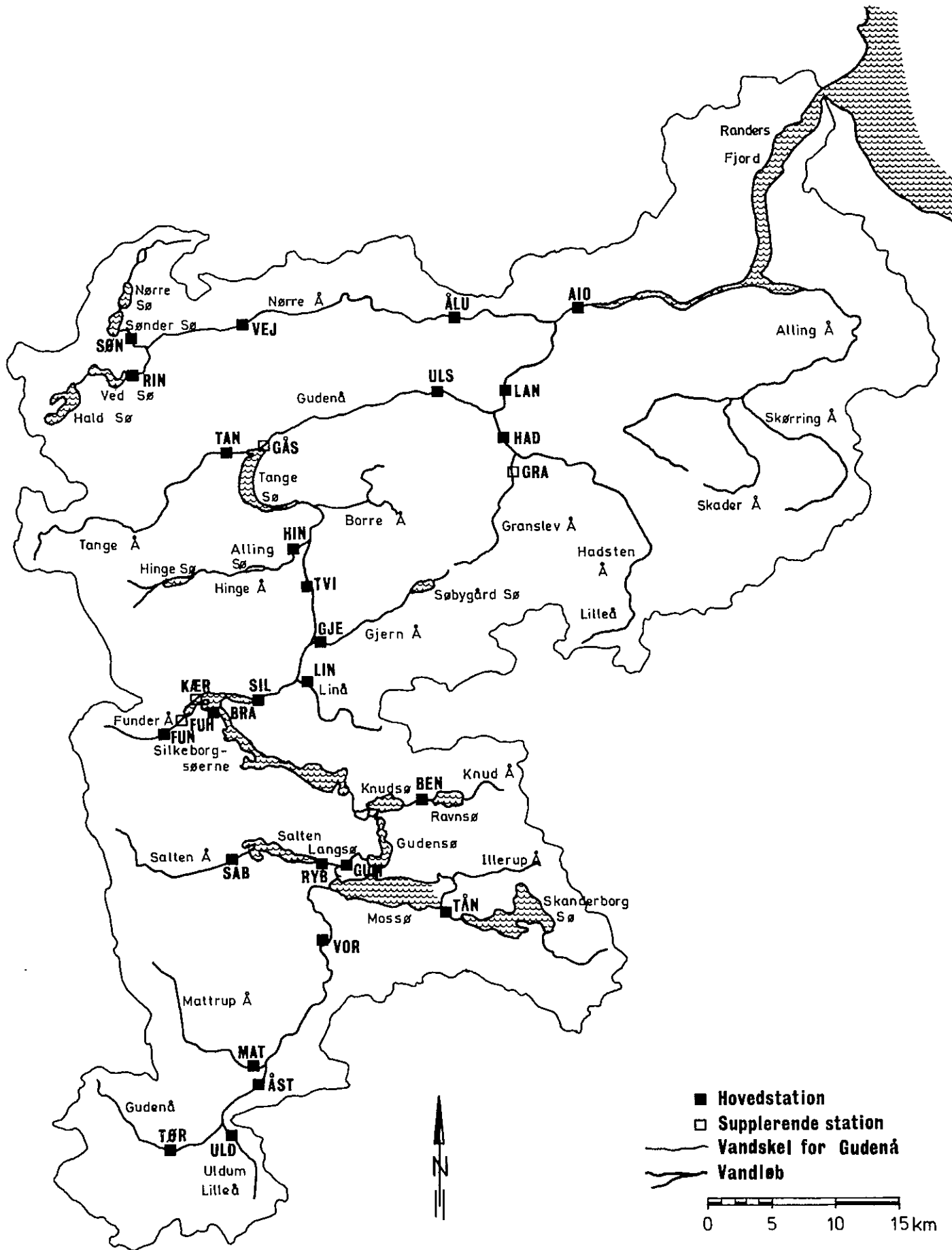
Undersøgelsen af stoftransporten er foretaget ved 26 hovedstationer samt 4 supplerende stationer, der er oprettet efter undersøgelsens start. Stationernes placering fremgår af figur 3.1. Tabel 3.1 beskriver kort stationsplaceringen samt område/nr. for de enkelte stationer.

#### 3.1           MÅLEPROGRAM

I perioden september-oktober 1973 blev der gennemført en intensiv stoftransportmålerunde med udtagning af enkeltprøver hver hele time i eet døgn ved åstationerne, og gennemsnitsprøver i 4 seks-timersperioder ved søafløbsstationerne. Denne målerunde blev gennemført for at undersøge eventuelle døgnvariationer ved de enkelte hovedstationer, og resultaterne fra denne undersøgelse anvendtes til at fastlægge prøvetagningsteknikken ved de følgende 26 prøvetagningsrunder.

Det egentlige stoftransportmåleprogram indledtes ultimo november 1973 og afsluttedes medio marts 1975. Tabel 3.2 og tabel 3.3 viser prøvetagningsfrekvensen for de enkelte stationer.

# Gudenå - systemet stationskort

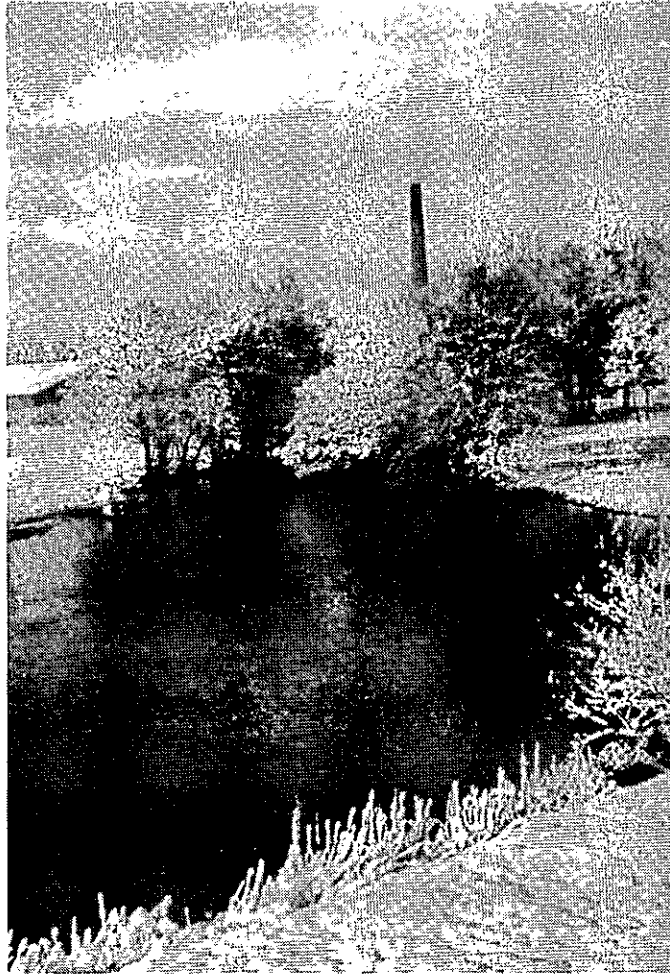


Figur 3.1



Navn	Område/ nr.	Beliggenhed
TØR	GUD 833	Gudenå ved Tørring rensningsanlæg
ULD	ULU 834	Uldum Lilleå ved Uldum rensningsanlæg
ÅST	GUD 802	Gudenå ved Åstedbro
MAT	MAR 832	Mattrup å ved Åstedbro
VOR	GUD 840	Gudenå ved Voervadsbro
TÅN	TNG 846	Tåning å ved Fulbro mølle
SAB	SAT 828	Salten å ved Salten bro
RYB	SAT 827	Salten å ved Gl. Ry bro
GUM	GUD 810	Gudenå ved Emborg bro
BEN	KNA 835	Knud å ved Bensmøllevad bro
BRA	GUD 851	Gudenå ved Silkeborg havn (Remstrup å)
FUN	FUD 839	Funder å ved Funder station
FUH	FUD 838	Funder å ved Funder Holme
KÆR	SIL 813	Silkeborg Langsø ved Kærvej
SIL	GUD 811	Gudenå ved hovedvej A 15
LIN	LIN 837	Linå ved Resebro
GJE	GJR 841	Gjern å ved Sminge
TVI	GUD 801	Gudenå ved Tvilumbro
HIN	HIN 842	Hinge å efter Grønbæk
TAN	TAG 830	Tange å ved Vindelsbæk bro
GÅS	GUD 822	Gudenå efter Tangeværket
ULS	GUD 809	Gudenå ved Ulstrup
GRA	GRA 856	Granslev å ved Røde Mølle
HAD	HLA 849	Hadsten Lilleå ved Løjstrup Mølle dambrug
LAN	GUD 848	Gudenå ved Amtmand Hoppes bro, Langå
ÅLU	NRR 831	Nørreå ved Ålum bro
VEJ	NRR 803	Nørreå ved Vejrumbro
SØN	SMA 824	Søndermølle å ved Søndermølle
RIN	NRR 812	Nørreå ved Rindsholm (Århus - Viborg vej)
A.10	GUD 829	Gudenå ved A.10-motorvejsbroen

Tabel 3.1 Stationsnummerering og -placering.



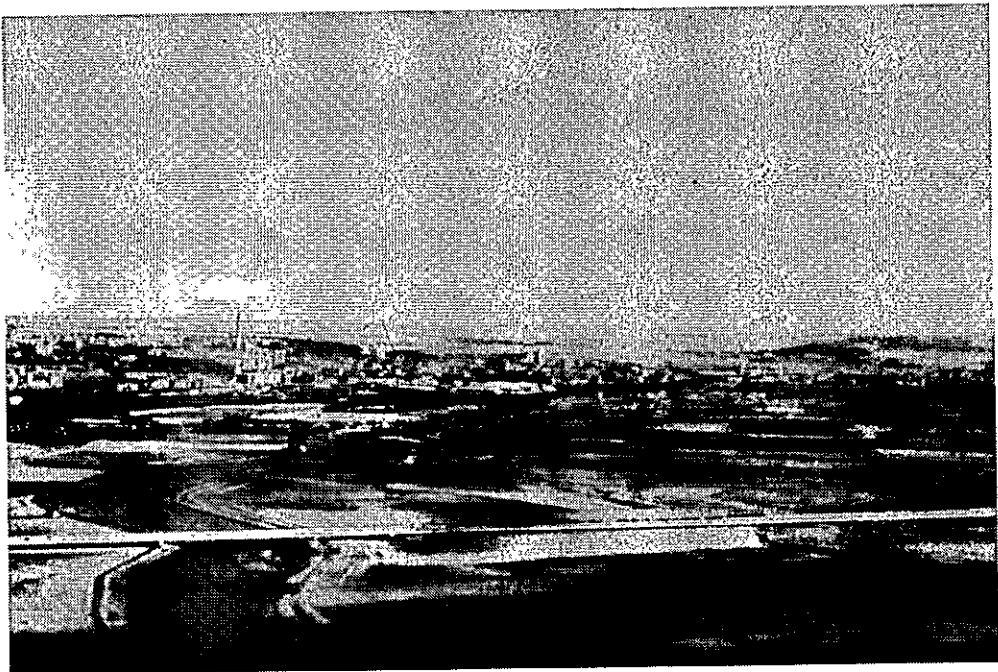
Gudenå ved Voervadsbro, hovedstation VOR.



Tangeå ved Vindelsbækbro, hovedstation TAN.



Hadsten Lilleå ved Løgstrup Mølle, hovedstation HAD.



Gudenå ved Randers, hovedstation A.10.

	U-ge nr.	T Ø R	U L D	Å S T	M A T	V O R	G U M	S A B	R Y B	T Å N	B E N	F U N	F U H	K Æ R	B R A	S I L	L I N	G J E	H I N	T V I	T A N	G Å S	R I N	S Ø N	V E J	Å L U	U L S	L A N	H A D	A I O	G R A
J	2					+	+	+	+			+			+	+	+	+	+	+											+
A	3	+	+	+	+					+	+											+		+	+	+	+	+	+	+	
N	4	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+			+	+															+
F	5																+	+	+	+	+			+	+	+	+	+	+	+	
E	6	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+			+	+								+	+	+	+	+	+	+	+
B	7																+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
	8	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+															+	+	+	+	+	+
	9											+			+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
M	10	+	+	+	+				+	+	+	+			+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
A	11																						+	+	+	+	+	+	+	+	+
R	12	+	+	+	+		+		+	+	+												+	+	+	+	+	+	+	+	+
	13										+	+			+	+	+	+	+	+	+										
A	14	+	+	+	+	+	+		+			+					+	+	+	+	+				+	+	+	+	+	+	+
P	15							+		+	+					+	+					+	+	+	+						
R	16	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	17			+	+		+	+	+																						
M	18	+	+		+					+	+	+										+	+	+	+	+					+
A	19	+	+	+	+										+	+	+	+	+	+	+					+	+	+	+	+	+
J	20					+	+	+	+													+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	21									+	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+										
	22	+	+	+	+																	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
J	23					+	+	+	+	+	+	+		+	+	+															
U	24	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
N	25																														+
	26	+	+	+	+	+																									
J	27				+																										
U	28																+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
L	29	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+															
	30																														
A	31	+	+	+	+	+	+	+	+								+	+	+	+	+					+	+	+	+	+	+
U	32									+	+	+		+	+	+						+	+	+	+	+					
G	33																														
	34	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	35																							+				+			+
S	36	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+										
E	37																					+		+	+	+	+	+	+	+	+
P	38					+	+	+	+	+	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+					+	+	+	+	+	+
	39	+	+	+	+																	+	+	+	+	+					
	40																														
O	41	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+				+	+						+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
K	42											+	+													+	+	+	+	+	+
T	43	+	+	+	+							+	+				+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	44					+	+	+	+	+	+			+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
N	45	+	+	+	+	+	+	+	+																						
O	46					+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
V	47	+	+	+	+					+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+										
	48					+	+	+	+														+	+	+	+	+	+	+	+	+
D	49	+	+	+	+					+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+								
E	50																														+
C																															

Tabel 3.2 Prøvetagningsfrekvens ved stoftransportstationerne 1974.

År	Md.	Uge nr.	T Ø R	U L D	Å S T	M A T	V O R	G U M	S A B	R Y B	T Å N	B E N	F U N	F U H	K Æ R	B E R	S I L	L I N	G J E	H I N	T V I	T A N	G Å S	R I N	S Ø N	V E J	Å L U	U L S	L A N	H A D	A I O	G R A				
1973	Nov.	48	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+																								
	Dec.	50											+			+	+	+	+	+	+	+			+	+	+	+	+	+	+	+	+			
1975	Jan.	2	+	+	+	+					+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+													+		
		3					+	+	+	+														+	+	+	+	+	+	+	+	+		+		
	Feb.	6	+	+	+	+					+	+		+	+	+	+	+	+	+	+															
		7					+	+	+	+														+	+	+		+	+	+	+	+	+		+	
	Mar.	10	+	+	+	+					+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+															
		11					+	+	+	+														+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

Tabel 3.3 Prøvetagningsfrekvens ved stoftransportstationerne 1973 og 1975.

## 3.2 MÅLETEKNIK

### 3.2.1 VANDFØRINGSMÅLINGER

Vandføringsmålinger ved stoftransportstationerne er gennemført af Hedeselskabet og afrapporteret i / 5/. Eksempel på vandføringsdatapresentation er vist i bilag 2.

### 3.2.2 PRØVEUDTAGNING

Vandprøverne til kemisk analyse er generelt udtaget over eet døgn. Ved åstationerne er der pr. prøvetagningsdøgn udtaget 4 seks-timers gennemsnitsprøver, medens der ved søafløbsstationerne er udtaget 2 12-timers gennemsnitsprøver.

Prøverne er udtaget med automatisk prøveudtagningsudstyr (type ISCO). Under størstedelen af undersøgelsen er prøverne udtaget som enkeltprøver een gang i timen og derefter sammenblandet til henholdsvis 6- og 12-timers blandingsprøver. Ved prøvetagningsrunderne i december 1973 og januar 1974 er der desuden anvendt prøvetagningsudstyr, hvor prøven udtages kontinuert (type SIMA, Warren Jones). Lejlighedsvis er prøver udtaget som enkeltprøver.

## 3.3 ANALYSERING

Vandprøverne er analyseret efter et program, omfattende:

UFILTRERET PRØVE	:	Total-fosfor	TP
		Total-kvælstof	TN
		Iltforbrug med $\text{KMnO}_4$	PE *
		pH	PH
		Ledningsevne	LE
		Total alkalinitet	TA
		Total organisk kulstof	TC

GF/C-FILTRERET PRØVE	:	Total-fosfor	FP
		Total-kvælstof	FN
		Iltforbrug med $\text{KMnO}_4$	FO
		Ortho-fosfat	PO
		Ammoniak-kvælstof	NH
		Nitrat + nitrit- kvælstof	NO
		Total organisk kulstof	FC

Vandprøverne fra sø afløb er desuden under størstedelen af undersøgelsen analyseret for silicium - SI.

Ved opstilling af prøveudtagningsudstyr er der under en del af perioden udtaget prøver til analysering for opløst ilt -  $\text{O}_2$  -, ligesom temperaturen - TE - i vandet er målt. Det egentlige ilt- og temperaturmåleprogram knytter sig til de "Intensive undersøgelser", beskrevet i / 4/, samt Geografisk Instituts temperaturmåleprogram /7/.

Analyserne er udført i henhold til VKI's standardanalysemetoder, / 6 /.

\*) Bemærk, at forkortelsen PE i anden sammenhæng benyttes for personækvivalent.

#### 4. RESULTATER - DØGNVARIATIONER

Tabel 4.1 viser en oversigt over resultaterne fra døgnvariationsmålingerne i september - oktober 1973.

I tabellen er anført:

$$\text{Middelværdi } \bar{X} : \bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} X_i}{n}$$

$$\text{Standardaf-} \\ \text{vigelse } s : s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=n} (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}}$$

$$\text{Variations-} \\ \text{koefficient } CV : CV = \frac{s \cdot 100}{\bar{X}}$$

$$\text{Minimalt målt værdi} = X_{i,\min}$$

$$\text{Maksimalt målt værdi} = X_{i,\max}$$

n = antal målte værdier.



	TØR	ULD	ÅST	MAT	VOR	TÅN	SAB	RYB	GUM	BEN	BRA	
TN	$\bar{x}$	2,65	7,37	2,29	1,85	2,11	1,38	0,679	0,563	1,13	2,09	0,96
	s	0,26	0,3	0,18	0,08	0,03	0,19	0,292	0,048	0,16	0,31	0,03
	CV	9,8	4,0	7,9	4,2	1,4	13,9	43,0	8,5	14,3	15,0	2,6
	$x_{i, \min}$	2,28	7,0	1,8	1,55	2,08	1,1	0,735	0,5	0,995	1,88	0,95
	$x_{i, \max}$	2,99	7,9	2,53	1,85	2,15	1,78	1,18	0,6	1,18	2,55	1,0
FN	$\bar{x}$	2,42	7,04	2,11	1,74	1,99	0,914	0,559	0,325	0,93	1,8	0,86
	s	0,23	0,16	0,17	0,11	0,04	0,146	0,063	0,029	0,109	0,04	0,12
	CV	9,5	2,2	7,8	6,2	2,1	16,0	11,2	8,9	11,7	2,34	14,2
	$x_{i, \min}$	2,06	6,8	1,7	1,55	1,93	0,74	0,49	0,3	0,77	1,75	0,75
	$x_{i, \max}$	2,75	7,3	2,28	1,85	2,03	1,18	0,673	0,35	1,15	1,8	1,0
NH	$\bar{x}$	0,197	1,22	0,117	0,119		0,131	0,123		0,054		0,33
	s	0,015	0,09	0,016	0,055		0,009	0,007		0,007		0,015
	CV	7,6	6,9	13,6	46,1		6,5	5,6		12,2		4,6
	$x_{i, \min}$	0,145	1,1	0,091	0,01		0,118	0,11		0,04		0,317
	$x_{i, \max}$	0,21	1,44	0,143	0,18		0,156	0,14		0,063		0,347
NO	$\bar{x}$	1,78	5,38	1,79	1,43	1,73	0,14	0,265	0,121	0,572		0,153
	s	0,17	0,29	0,04	0,02	0,01	0,008	0,015	0,003	0,012		0,01
	CV	9,6	5,4	2,1	1,4	0,6	5,7	5,5	2,1	2,1		6,5
	$x_{i, \min}$	1,57	4,93	1,75	1,4	1,72	0,133	0,25	0,12	0,55		0,141
	$x_{i, \max}$	2,09	6,06	1,9	1,46	1,74	0,173	0,296	0,125	0,6		0,164
PE	$\bar{x}$	5,93	8,53	4,7	4,18	1,92	8,0	4,87	3,59	5,02	4,92	4,08
	s	0,94	0,47	0,87	2,42	0,09	0,95	0,85	0,34	1,2	0,25	0,66
	CV	15,8	5,5	18,4	58,0	4,7	11,9	17,5	9,4	23,7	5,2	16,2
	$x_{i, \min}$	5,17	7,31	3,91	3,16	1,82	5,88	3,71	3,24	3,71	4,62	3,28
	$x_{i, \max}$	8,06	9,28	7,07	11,5	2,01	9,52	6,52	4,03	7,78	5,21	4,86
FO	$\bar{x}$	3,37	7,1	3,65	3,15	1,57	5,16	0,85	2,5	3,36	4,38	3,15
	s	0,4	0,51	0,34	0,22	0,35	0,79	0,21	0,34	0,52	0,34	0,17
	CV	11,9	7,2	9,2	6,9	22,2	15,3	24,4	13,5	15,4	7,7	5,4
	$x_{i, \min}$	2,92	6,32	3,16	2,76	1,26	3,83	0,47	2,05	1,82	4,03	2,92
	$x_{i, \max}$	4,34	8,29	4,3	3,52	2,05	6,6	1,15	2,84	3,75	4,82	3,28
TP	$\bar{x}$			0,305	0,471	0,146	0,147	0,289	0,054	0,112	0,026	0,073
	s			0,08	0,06	0,015	0,021	0,059	0,005	0,035	0,003	0,007
	CV			24,6	13,6	10,2	14,5	20,5	9,3	31,5	11,8	9,4
	$x_{i, \min}$			0,168	0,371	0,13	0,115	0,2	0,048	0,087	0,021	0,064
	$x_{i, \max}$			0,414	0,545	0,165	0,177	0,36	0,06	0,109	0,027	0,08

Tabel 4.1 Fortsættes.

Tabelltekst, se side 16.

	TØR	ULD	AST	MAT	VOR	TÅN.	SAB	RYB	GUM	BEN	BRA
$\bar{x}$			0,215	0,503	0,105		0,348	0,017		0,017	0,053
s			0,08	0,12	0,03		0,276	0,001		0,001	0,003
FP CV			37,1	24,4	28,8		79,3	7,3		7,3	6,5
$x_{i, \min}$			0,124	0,349	0,085		0,11	0,016		0,016	0,048
$x_{i, \max}$			0,382	0,8	0,15		0,62	0,019		0,019	0,056
$\bar{x}$				0,397		0,113	0,359	0,047	0,098	0,007	0,052
s				0,12		0,006	0,155	0,002	0,004	0,001	0,005
PO CV				28,9		5,0	43,1	3,9	3,7	20,2	10,2
$x_{i, \min}$				0,16		0,108	0,1	0,045	0,087	0,006	0,044
$x_{i, \max}$				0,7		0,126	0,665	0,049	0,105	0,009	0,056
$\bar{x}$	1,9	3,09	2,34	1,35	2,2	2,01	1,25	1,27	1,76	1,78	1,61
s	0,04	0,18	0,04	0,05	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,05
TA CV	2,1	5,8	1,7	3,8	0,4	0,8	1,6	2,1	1,5	2,1	2,9
$x_{i, \min}$	1,86	2,89	2,29	1,21	2,19	2,0	1,23	1,23	1,72	1,72	1,58
$x_{i, \max}$	1,96	3,6	2,43	1,43	2,21	2,04	1,28	1,29	1,79	1,8	1,68
$\bar{x}$	7,14	7,41	7,21	7,11	7,62	7,6	7,27	7,72	7,72	7,75	7,67
s	0,1	0,1	0,1	0,09	0,06	0,21	0,09	0,05	0,09	0,05	0,05
PH CV	1,4	1,3	1,3	1,3	0,8	2,7	1,2	0,7	1,2	0,6	0,6
$x_{i, \min}$	6,9	7,3	7,05	6,85	7,55	6,82	7,05	7,65	7,44	7,7	7,61
$x_{i, \max}$	7,3	7,65	7,4	7,25	7,7	7,81	7,38	7,76	7,85	7,81	7,71
$\bar{x}$	8,63	9,53	6,97	6,62		10,7	8,31	10,4	10,3	8,8	
s	0,57	0,71	0,78			0,11	0,81	0,21	1,06	0,62	
OO CV	6,6	7,4	11,2			1,1	9,7	2,0	10,3	7,0	
$x_{i, \min}$	8,22	9,03	6,42			10,7	7,74	10,2	9,53	8,36	
$x_{i, \max}$	9,03	10,03	7,52			10,9	8,88	10,5	11,0	9,23	

Tabel 4.1 Fortsættes.

Tabeltekst, se side 16.

	FUN	SIL	LIN	GJE	TVI	HIN	TAN	ULS	HAD	LAN	A 10	
TN	$\bar{x}$	0,925	1,67	2,32	3,48	1,27	1,23	2,04	1,34	3,47	1,47	1,62
	s	0,13	0,17	0,12	0,28	0,35	0,39	0,22	0,26	0,38	0,17	0,09
	CV	14,1	9,9	5,1	7,9	27,4	31,4	11,0	19,4	10,8	11,6	5,5
	$x_{i, \min}$	0,83	1,43	2,15	3,16	0,69	1,03	1,75	1,1	2,92	1,29	1,57
	$x_{i, \max}$	1,17	1,79	2,5	3,92	2,08	1,81	2,48	1,9	4,17	1,63	1,73
FN	$\bar{x}$	0,71	1,34	2,2	3,29	0,748	1,06	1,9	1,03	3,24	1,17	1,38
	s	0,055	0,22	0,08	0,12	0,091	0,25	0,15	0,09	0,28	0,06	0,15
	CV	7,8	16,3	3,6	3,7	12,2	23,1	7,7	8,9	8,6	5,2	11,1
	$x_{i, \min}$	0,66	1,07	2,08	3,16	0,6	0,882	1,7	0,9	2,81	1,1	1,21
	$x_{i, \max}$	0,84	1,6	2,33	3,56	0,9	1,42	2,13	1,18	3,65	1,22	1,57
NH	$\bar{x}$	0,287	0,49	0,161	1,07	0,012	0,083	0,309	0,085	1,13	0,177	0,244
	s	0,019	0,091	0,015	0,03	0,01	0,031	0,032	0,021	0,12	0,03	0,071
	CV	6,7	18,6	9,2	1,07	79,2	37,6	10,4	24,3	10,5	16,7	29,2
	$x_{i, \min}$	0,25	0,421	0,14	1,01	0,003	0,067	0,275	0,045	0,093	0,135	0,179
	$x_{i, \max}$	0,31	0,619	0,192	1,12	0,037	0,129	0,395	0,14	1,28	0,203	0,343
NO	$\bar{x}$	0,29	0,171	1,9	1,68	0,318	0,565	1,24	0,551	1,26	0,632	0,786
	s	0,007	0,018	0,1	0,1	0,092	0,01	0,05	0,015	0,16	0,021	0,041
	CV	2,4	10,5	5,2	5,7	29,1	1,8	4,0	2,8	12,8	3,3	5,2
	$x_{i, \min}$	0,275	0,153	1,46	1,53	0,17	0,56	1,15	0,53	0,975	0,603	0,73
	$x_{i, \max}$	0,3	0,189	2,0	1,88	0,485	0,58	1,31	0,576	1,46	0,649	0,816
PE	$\bar{x}$	4,39	4,82	3,62	3,81	7,02	5,86	4,04	5,17	4,34	5,11	5,07
	s	2,0	0,39	0,84	0,6	0,83	1,52	0,35	0,59	0,58	0,1	0,08
	CV	45,4	4,8	23,3	15,8	11,8	25,9	8,6	11,3	13,3	2,1	1,6
	$x_{i, \min}$	2,92	4,34	2,69	3,4	5,29	1,82	3,44	4,42	3,36	4,98	4,98
	$x_{i, \max}$	9,27	5,25	5,09	5,61	8,53	2,01	4,74	6,08	5,17	5,21	5,17
FO	$\bar{x}$	1,65	3,6	2,33	3,02	3,65	1,57	3,75	3,56	3,63	3,68	3,87
	s	0,54	0,36	0,59	0,34	1,09	0,35	0,37	0,22	0,37	0,55	0,29
	CV	32,8	10,0	25,5	11,4	29,8	22,2	9,9	6,3	10,2	14,8	7,5
	$x_{i, \min}$	1,15	3,28	1,18	2,49	2,49	1,26	3,44	3,24	3,24	3,75	3,63
	$x_{i, \max}$	2,73	4,07	3,08	3,67	6,2	2,05	4,54	4,03	4,23	4,42	4,19
TP	$\bar{x}$	0,386	0,211	0,132	0,183	0,258			0,131	0,625	0,224	0,219
	s	0,233	0,055	0,01	0,018	0,013			0,027	0,07	0,014	0,007
	CV	60,2	25,9	8,0	9,6	5,0			20,7	11,2	6,4	3,2
	$x_{i, \min}$	0,211	0,149	0,118	0,16	0,24			0,092	0,535	0,207	0,211
	$x_{i, \max}$	0,882	0,273	0,149	0,205	0,28			0,168	0,748	0,242	0,224

Tabel 4.1 Fortsættes.

Tabeltekst, se side 16.

	FUN	SIL	LIN	GJE	TVI	HIN	TAN	ULS	HAD	LAN	A 10
$\bar{x}$	0,115	0,138	0,115		0,113			0,098	0,502	0,105	0,104
s	0,008	0,041			0,01			0,002	0,042	0,013	0,02
FP CV	6,9	30,2			9,2			2,2	8,4	12,6	19,4
$x_{i, \min}$	0,106	0,081			0,095			0,096	0,455	0,089	0,089
$x_{i, \max}$	0,127	0,18			0,13			0,098	0,536	0,12	0,127
$\bar{x}$	0,1	0,111	0,115	0,167	0,091	0,053		0,08	0,507	0,086	0,109
s	0,005	0,026	0,004	0,009	0,011	0,002		0,011	0,066	0,006	0,045
PO CV	4,6	23,3	3,3	5,1	12,3	3,8		13,9	13,1	6,8	41,8
$x_{i, \min}$	0,09	0,078	0,108	0,153	0,075	0,052		0,069	0,416	0,081	0,08
$x_{i, \max}$	0,112	0,136	0,136	0,182	0,11	0,056		0,121	0,596	0,091	0,176
$\bar{x}$	0,63	1,58	1,56	2,04	1,43	1,55	2,24	1,53	3,14	1,73	1,76
s	0,02	0,01	0,04	0,06	0,097	0,07	0,14	0,03	0,06	0,01	0,03
TA CV	3,1	0,4	2,5	3,2	4,0	4,2	6,1	2,1	2,0	0,8	1,4
$x_{i, \min}$	0,61	1,58	1,49	1,94	1,35	1,49	2,0	1,5	3,07	1,71	1,74
$x_{i, \max}$	0,64	1,59	1,59	2,12	1,54	1,63	2,43	1,57	3,21	1,74	1,79
$\bar{x}$	6,95	7,29	7,34	7,57	7,75	7,4	7,65	7,21	7,57	7,99	7,98
s	0,107	0,46	0,13	0,05	0,12	0,03	0,08	0,07	0,07	0,03	0,03
PH CV	1,5	6,3	1,8	0,7	0,67	0,4	1,0	0,9	0,9	0,4	0,4
$x_{i, \min}$	6,7	6,6	7,1	7,5	7,52	7,35	7,4	7,1	7,4	7,95	7,95
$x_{i, \max}$	7,2	7,55	7,55	7,69	7,9	7,43	7,8	7,39	7,68	8,01	8,02
$\bar{x}$	8,59		10,2			12,3	8,18	9,24	8,73	9,54	8,1
s	1,2		0,95				0,71	1,08	0,39		1,21
OO CV	13,9		9,3				8,6	11,7	4,5		14,9
$x_{i, \min}$	7,74		9,53				7,68	8,47	8,28		6,19
$x_{i, \max}$	9,43		10,9				8,68	10,0	8,97		9,52

Tabel 4.1 Oversigt over resultaterne fra døgnvariationsmålinger i september, oktober 1973. Det bemærkes, at der ikke for samtlige stationer eksisterer komplette, sammenhørende analysesæt. Således er f.eks. ved st. SAB antallet, n, af analyser for TP mindre end n for FP, der igen er mindre end n for PO.

Tabel 4.2 viser de stationer, hvor der ved undersøgelsen for næringsstoffer og organisk materiale er observeret variationskoefficienter på døgnbasis, der overstiger 10 %. Det fremgår, at der ud af 198 mulige analysesæt (9 analyser ved 22 stationer) optræder 88 analysesæt med  $CV > 10 \%$ . 20 analysesæt er ikke medtaget ved den statistiske behandling. Ca. 49 % af de målte analysesæt for næringsstof og organisk materiale har således variationskoefficienter, der på døgnbasis overstiger 10 %.

Årsager til døgnvariation for næringsalte og organisk materiale er følgende:

- 1: Variation i vandets strømningshastighed
- 2: Spildevandsudledning
- 3: Analyseusikkerhed.

Større variationer i vandets strømningshastighed kan forårsages af nedbør, afsmeltning, regulering via stemmeværker og af tidevand. Ved voksende strømningshastighed vil koncentrationen af opslemmet, partikulært materiale i vandmassen forøges, og totalkoncentrationerne af kvælstof, fosfor og organisk materiale kan således øges. Ved aftagende strømningshastighed vil det opslemmede materiale i større eller mindre grad kunne sedimenteres igen, medførende en aftagende koncentration i vandmassen af totalkoncentrationerne af kvælstof, fosfor og organisk materiale.

En kraftig regnbyge vil forbigående kunne bevirke voksende koncentrationer af nitrat-kvælstof i vandløb, forårsaget af en forøget udvaskning af nitrat fra de tilstødende arealer.

Station	CV > 10 % på døgnbasis								
	TN	FN	NH	NO	TP	FP	PO	PE	FO
TØR					-	-	-	+	+
ULD					-	-	-		
ÅST			+		+	+	-	+	
MAT			+		+	+	+	+	
VOR			-		+	+	-		+
TÅN	+	+			+	-		+	+
SAB	+	+			+	+	+	+	+
RYB			-						+
GUM	+	+	+		+	-		+	+
BEN	+			-	+		+		
BRA		+					+	+	
FUN	+				+			+	+
SIL		+	+	+	+	+	+		+
LIN						-		+	+
GJE						-		+	+
TVI	+	+	+	+			+	+	+
HIN	+	+	+		-	-		+	+
TAN	+		+		-	-	-		
ULS	+		+		+		+	+	
HAD	+		+	+	+		+	+	+
LAN	+		+			+			+
A 10		+	+			+	+		

Tabel 4.2 Oversigt over, på hvilke stationer der på døgnbasis observeres variationskoefficienter, der overstiger 10 %.  
 "-" angiver, at den pågældende analysevariabel ikke er målt.

I vandløbsstrækninger, hvortil der føres spildevand, kan der, hvis stoftilførslen med spildevandet er af en væsentlig størrelse, sammenlignet med vandløbets egentransport, optræde døgnvariationer for samtlige analyserede fraktioner af kvælstof, fosfor og organisk materiale. Spildevandsbetingede døgnvariationer optræder ikke blot hvor vandløbene er belastet med husspildevand, men også i vandløbsstrækninger med intensiv dambrugsdrift, f.eks. Salten å, st. SAB.

Hvor vandløbskoncentrationen af de undersøgte analysevariable er så lave, at de ligger på detektionsgrænsen for den anvendte analysemetode, kan høje variationskoefficienter for de undersøgte analysevariable skyldes usikkerheden ved analysen i det pågældende koncentrationsområde. Dette er således tilfældet ved st. BEN, hvor CV for PO er 20,2 %. Her er den minimalt målte koncentration 6 µg P/l og den maksimalt målte koncentration 9 µg P/l.

På baggrund af resultaterne fra de orienterende døgnundersøgelser blev det besluttet at gennemføre stoftransportmålingerne ved fraktionerede døgnprøvetagninger, henholdsvis to 12-timers gennemsnitsprøver ved søstationer og fire 6-timers gennemsnitsprøver ved vandløbsstationerne.

Ved den sidste hovedstation i Gudenåen ved motorvejsbroen ved Randers (A.10) blev der anvendt en prøveudtagningssteknik, der adskiller sig fra den teknik, der blev anvendt ved de øvrige stationer. For at undgå at udtage prøver af en stagnerende vandmasse ved stigende vandstand (tidevandspåvirkning fra Randers fjord) blev det besluttet, at prøverne ved denne station skulle udtages som gennemsnitsprøver over 8 timer i to perioder, begyndende ca. 1 time efter registreret højvande i Randers havn. Prøven fra denne station blev udtaget af og

analyseret af Randers Levnedsmiddelkontrol.

Da årstransporterne var beregnet, viste det sig imidlertid, at der var væsentlig afvigelse for fosfortransporten, beregnet på basis af analyseresultater fra A.10-stationen, og fosfortransporten, beregnet på basis af transportværdierne ved de opstrøms stationer og spildevands- og afstrømningsbidrag fra de mellemliggende strækninger. Forskellen fremgår af tabel 4.3.

	ton P/år
Fosfortransport "målt" ved A.10	286
Fosfortransport beregnet ved A.10	201

Tabel 4.3      Forskel mellem "målt" og beregnet fosfortransport ved st. A.10.

Årsagen til denne store forskel er den tidligere omtalte effekt fra variation i vandets strømningshastighed. Ved en kontrolmåling i vinteren 1975-76 blev der ved højvande målt en vandhastighed på 0,12 m/sek., medens vandhastigheden ved lavvande var vokset til 0,32 m/sek.. Sigtedybden (visuelt, uden sigteskive) var væsentlig større ved højvande (lav vandhastighed) end ved lavvande (høj vandhastighed).

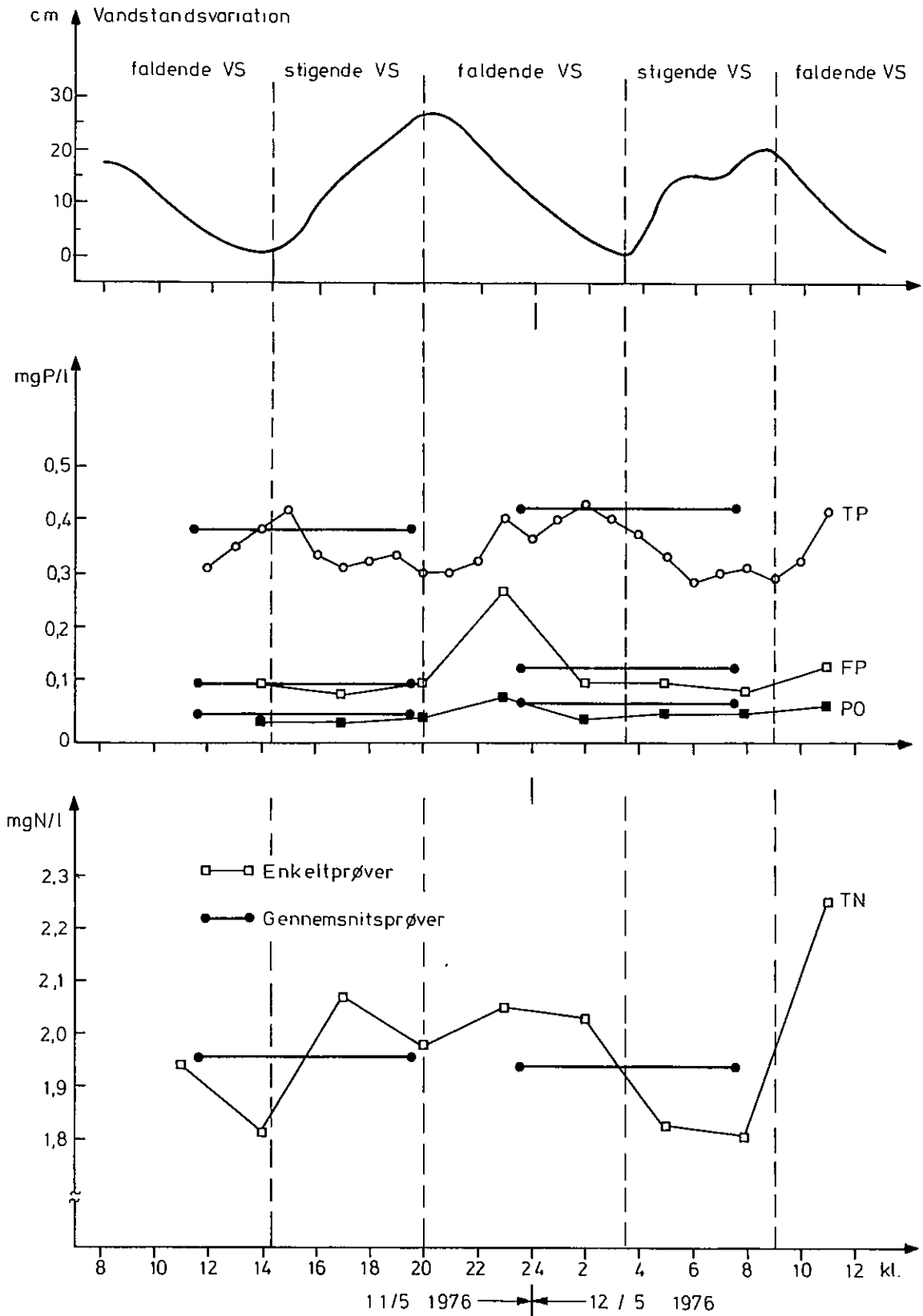
Ved stigende vandstand sker der således en sedimentation af partikulært materiale, tilført fra Gudenå og Nørreå,



i den tidevandspåvirkede del af de to åer. Når vandstanden atter falder, ophvirvles det partikulære materiale og føres med vandet ud i Randers fjord. Anvendelse af den omtalte prøvetagningsteknik ved A.10-stationen har således bevirket, at der i de to 8-timers perioder ved st. A.10 er transporteret og udtaget partikulært materiale, der er tilstrømmet vandområdet i løbet af 24 timer. Da hovedparten af fosformængden ved st. A.10 foreligger som partikulært fosfor, vil der ved stoftransportberegningerne opstå en systematisk fejl, når de målte koncentrationer benyttes. Den i tabel 4.3 viste forskel mellem de "målte" værdier og de beregnede værdier, kan da forklares. Ved de efterfølgende stoftransportberegninger benyttes de beregnede værdier for fosfortransporten ved A.10.

For kvælstoftransporten ved st. A.10 er der ingen forskel mellem målte og beregnede årstransporter, idet kun en meget lille del af kvælstof er bundet til det partikulære materiale. Den anvendte prøveudtagningsteknik, der har bevirket en ikke repræsentativ stor mængde partikulært materiale i prøverne, influerer således ikke væsentligt på kvælstoftransporten og er derfor anvendelig til bedømmelse af kvælstoftransporten på stationen.

Figur 4.1 viser resultatet af en døgnundersøgelse ved st. A.10, hvor der dels er udtaget og analyseret enkeltprøver hver time over et døgn, dels er udtaget og analyseret gennemsnitsprøver, udtaget efter samme metode som ved stoftransportundersøgelsen.



Figur 4.1 Døgnundersøgelse ved st. A 10 med anvendelse af forskellig prøveudtagningsteknik.

## 5. RESULTATER - ARSVARIATIONER/ARSTRANS- PORTER 1974

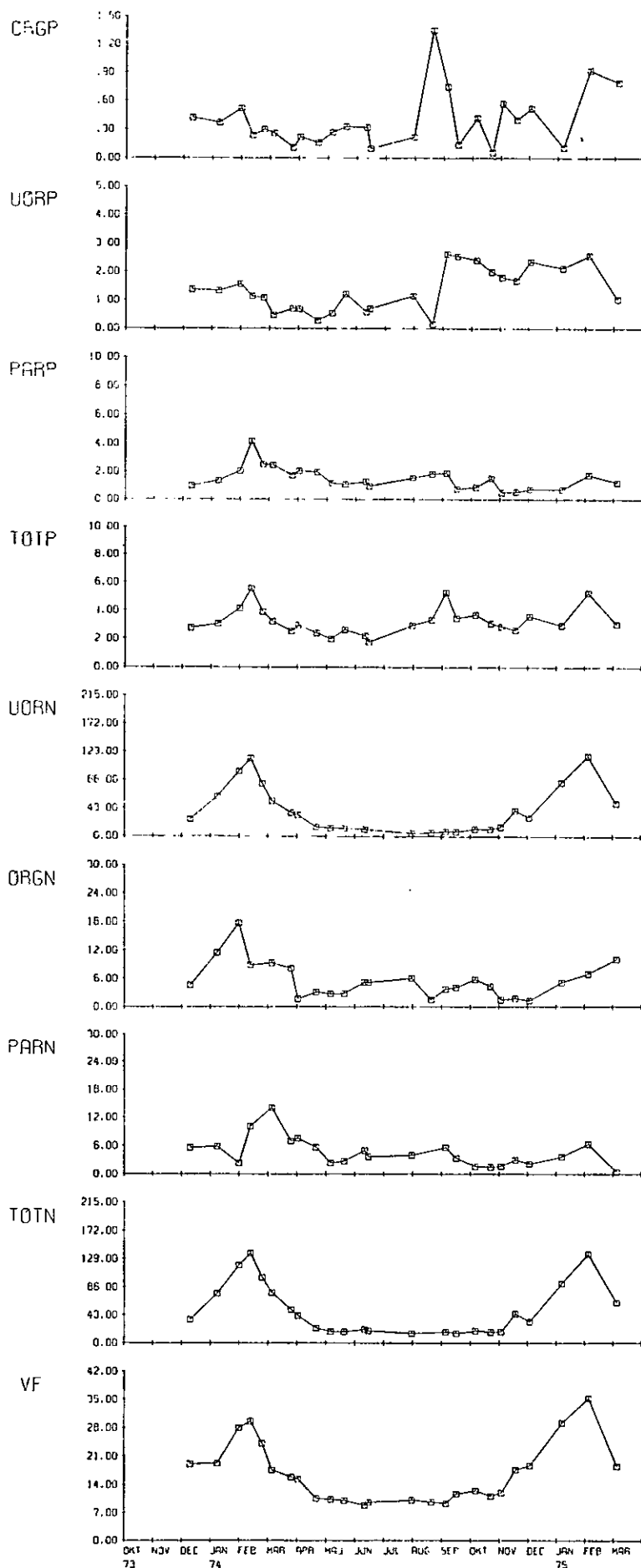
I bilag I er årsvariationerne for transport af kvælstof og fosfor ved de enkelte stoftransportstationer afbildet. Desuden er angivet koncentrationstabel af målte parametre samt kommentarer hertil.

Figur 5.1 viser et eksempel på afbildningen. De anvendte forkortelser på figuren er:

ORGP : organisk fosfor i opløsning  
UORP : uorganisk fosfor i opløsning  
PARP : partikulært fosfor  
TOTP : total fosfor = ORGP+UORP+PARP  
ORGN : organisk kvælstof i opløsning  
UORN : uorganisk kvælstof i opløsning  
PARN : partikulært kvælstof  
TOTN : total kvælstof = ORGN+UORN+PARN  
VF : vandføring

Ordinatakseværdierne er for N- og P-forbindelser g/sek., og for vandføring m<sup>3</sup>/sek.

Årsvariationen for transport af kvælstof- og fosforforbindelser udviser generelle træk ved de forskellige stoftransportstationer:



Figur 5.1 Eksempel på afbildning af stoftransportvariationer. VF: m<sup>3</sup>/sec. Øvrige: g/sec.

Transporten af organisk fosfor i opløsning er meget lille og jævn over hele året.

Transporten af fosfor foregår gennemgående ligeligt fordelt mellem uorganisk fosfor i opløsning og partikulært fosfor.

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

Transport af oxiderbart materiale foregår hovedsageligt i form af opløst materiale.

Tabel 5.1 viser den relative fordeling af total-kvælstof, total-fosfor og oxiderbart materiale mellem de enkelte fraktioner for stoftransportstationerne i 1974 (på årsbasis).

Tabel 5.2 viser korrelationskoefficienter mellem årsvandføring, VF, afstrømningsareal, A, og total-årstransport af kvælstof og fosfor samt de enkelte fraktioner af kvælstof og fosfor. Korrelationsanalysen er udført på data fra samtlige hovedstationer eksklusiv st. LAN og st. A.10. Disse stationer er udeladt på grund af det unormalt store bidrag til stoftransporten på disse stationer fra Hadsten Lilleå. Det fremgår af tabellen, at der er god korrelation mellem samtlige variable. Den dårligste korrelation findes mellem uorganisk kvælstof og fosfor (korrelationskoefficient 0,88). Der er meget fin korrelation mellem årsvandføring og afstrømningsareal (korrelationskoefficient 0,99).

Station	Kvælstof			Fosfor			Oxiderbart materiale	
	part.	opl. org.	opl. uorg.	part.	opl. org.	opl. uorg.	part.	opløst
TØR	5,7	6,5	90,0	31,3	11,6	61,6	21,3	78,7
ULD	5,8	5,0	79,7	27,6	13,8	58,6	20,3	79,7
ÅST	4,6	6,4	91,4	44,3	11,4	45,7	17,3	82,7
MAT	7,1	9,8	84,7	39,5	16,3	51,2	28,0	72,0
VOR	4,0	6,0	89,6	46,9	11,3	46,4	17,1	82,9
TÅN	10,3	16,7	73,3	31,1	14,9	56,8	13,5	86,5
SAB	11,6	18,9	70,5	57,5	7,5	41,3	29,6	70,4
RYB	22,4	22,4	56,5	62,5	14,3	23,2	29,1	70,9
GUM	7,7	11,1	81,8	47,1	14,1	38,8	17,7	72,3
BEN	4,3	10,6	85,6	50,0	10,0	40,0	18,6	81,4
BRA	13,1	15,2	72,3	38,1	11,3	52,6	26,1	73,9
FUN	13,7	14,7	75,1	57,8	6,7	40,0	46,1	53,9
KÆR	38,1	22,8	40,9	70,0	14,0	20,0	50,9	49,1
SIL	18,3	15,8	66,3	47,2	13,3	39,9	36,7	63,3
LIN	3,6	4,8	91,7	42,9	14,2	42,9	18,4	81,6
GJE	5,2	5,1	83,4	56,8	6,8	40,5	22,6	77,4
TVI	11,3	14,7	75,3	47,1	11,4	42,3	28,4	71,6
HIN	9,5	8,2	84,0	63,8	10,3	24,1	25,5	74,5
TAN	6,0	7,5	87,4	66,3	5,9	27,7	19,2	80,8
GÅS	10,8	14,7	74,4	48,8	13,0	38,2	26,3	73,7
ULS	10,0	14,7	77,3	56,6	12,3	35,1	26,4	73,8
HAD	7,2	7,1	85,1	45,7	6,0	50,5	32,0	68,0
LAN	9,4	12,0	78,4	54,5	6,6	40,0	32,6	67,4
SØN	17,3	23,9	60,9	28,6	8,2	63,3	24,0	76,0
RIN	15,7	16,9	69,1	37,7	6,6	57,5	33,9	66,1
VEJ	9,7	17,9	73,1	29,5	5,4	67,4	22,4	77,6
ÅLU	7,3	13,0	79,7	47,1	6,3	47,9	18,6	81,4

Tabel 5.1 Relativ fordeling af total kvælstof, total fosfor og oxiderbart materiale på partikulære og opløste fraktioner for stoftransportstationerne i 1974.

	VF	TN	PN	ON	UN	TP	PP	UP	OP	A
VF	1,00	0,96	0,97	0,99	0,93	0,96	0,95	0,92	0,96	0,99
TN		1,00	0,94	0,97	0,99	0,94	0,95	0,90	0,92	0,97
PN			1,00	0,97	0,91	0,97	0,96	0,93	0,98	0,97
ON				1,00	0,95	0,96	0,96	0,92	0,95	0,99
UN					1,00	0,92	0,92	0,88	0,89	0,94
TP						1,00	0,99	0,98	0,97	0,95
PP							1,00	0,94	0,95	0,95
UP								1,00	0,93	0,91
OP									1,00	0,95
A										1,00

Tabel 5.2 Korrelationskoefficienter mellem årsvandføring, VF, afstrømningsareal, A, og totalårstransport af kvælstof- og fosfor-fraktioner.

(Her er brugt forkortelserne:

P ~ partikulært

O ~ opløst organisk

U ~ opløst uorganisk)

I figurerne 5.2 - 5.9 er den totale årstransport af kvælstof og fosfor samt delfraktionerne afbildet mod årsvandføringen for de enkelte hovedstationer eksklusiv st. LAN og st. A.10.

KOMMENTARER TIL FIGURERNE 5.2 - 5.9

-----  
(vs ~ versus (imod))

Vandføring vs opløst uorganisk N (figur 5.2).

Transport-vandføringskurven er S-formet. Dette skyldes, at der i Gudenåen mellem st. ÅST og st. SIL befinder sig et relativt sammenhængende system af søer, hvor de tilførte mængder af opløst uorganisk kvælstof i en stor del af året indbygges i organisk materiale (alger). Variationer i vandføring vil her således ikke ledsages af tilsvarende variationer i transport af opløst uorganisk kvælstof som i de "rene" åstrækninger.

St. HAD transporterer unormalt meget kvælstof i forhold til vandføringen på stationen. Dette skyldes, at Hadsten Lilleå i forhold til de øvrige stationer er hårdt belastet med spildevand.

Vandføring vs opløst organisk N (figur 5.3).

Også her gør indflydelsen fra Hadsten Lilleå sig gældende ved st. HAD. Det bemærkes, at kvælstofomsætningen i søsystemerne kun i ringe grad influerer på den tilnærmelsesvis lineære transport-vandføringskurve.

Vandføring vs partikulært N (figur 5.4).

Transporten ved stationerne HAD og SIL er unormal høj i forhold til vandføringen på stationerne. De forhøjede transporter af partikulært kvælstof skyldes spildevandsudledningen i Silkeborg-Søholt og Hadsten. Ved Tvilumbro (TVI) er transporten igen normal. Det overskydende partikulære kvælstof (ca. 60 t) er således sedimenteret og/eller omdannet i Gudenåen mellem st. SIL og st. TVI.



Vandføring vs total-N (figur 5.5).

Transport-vandføringskurven er S-formet, idet hovedfraktionen af total-kvælstof er opløst uorganisk kvælstof. St. HAD afviger som ved de enkelte N-fraktioner.

Vandføring vs total-P (figur 5.6).

De stationer, der er mest påvirkede af spildevand, fremtræder klart, idet årstransporten af fosfor ved disse stationer langt overskrider "normaltransporten". De pågældende åstrækninger er Nørreå efter Brunshåb, Gudenå efter Silkeborg og efter Bjerringbro samt Hadsten Lilleå efter Hadsten, og af figurerne fremgår det, at der sker en ophobning af fosfor i Gudenåen mellem st. SIL og st. TVI samt i Tange sø mellem st. TVI og st. GÅS.

Vandføring vs partikulært P (figur 5.7).

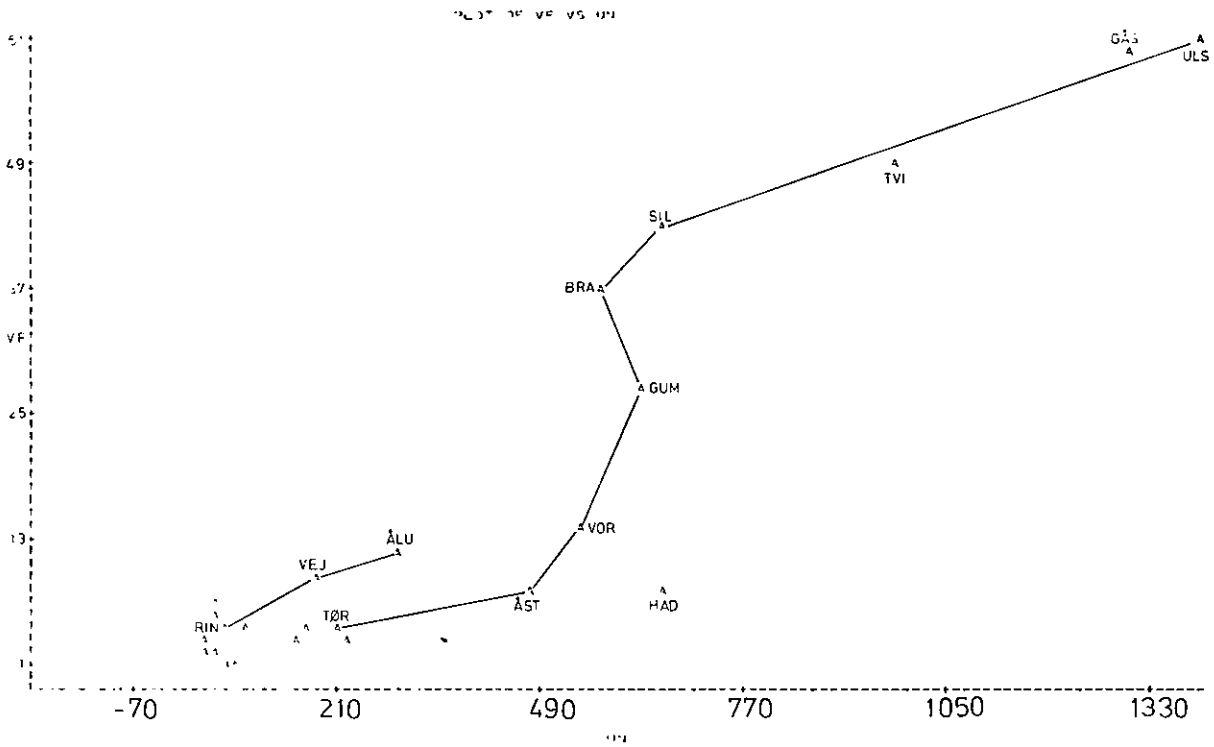
Billedet her minder om situationen for total-P. Det bemærkes, at der sker en forøgelse af den procentvise andel af partikulært fosfor mellem st. VEJ og st. ÅLU.

Vandføring vs uorganisk P (figur 5.8).

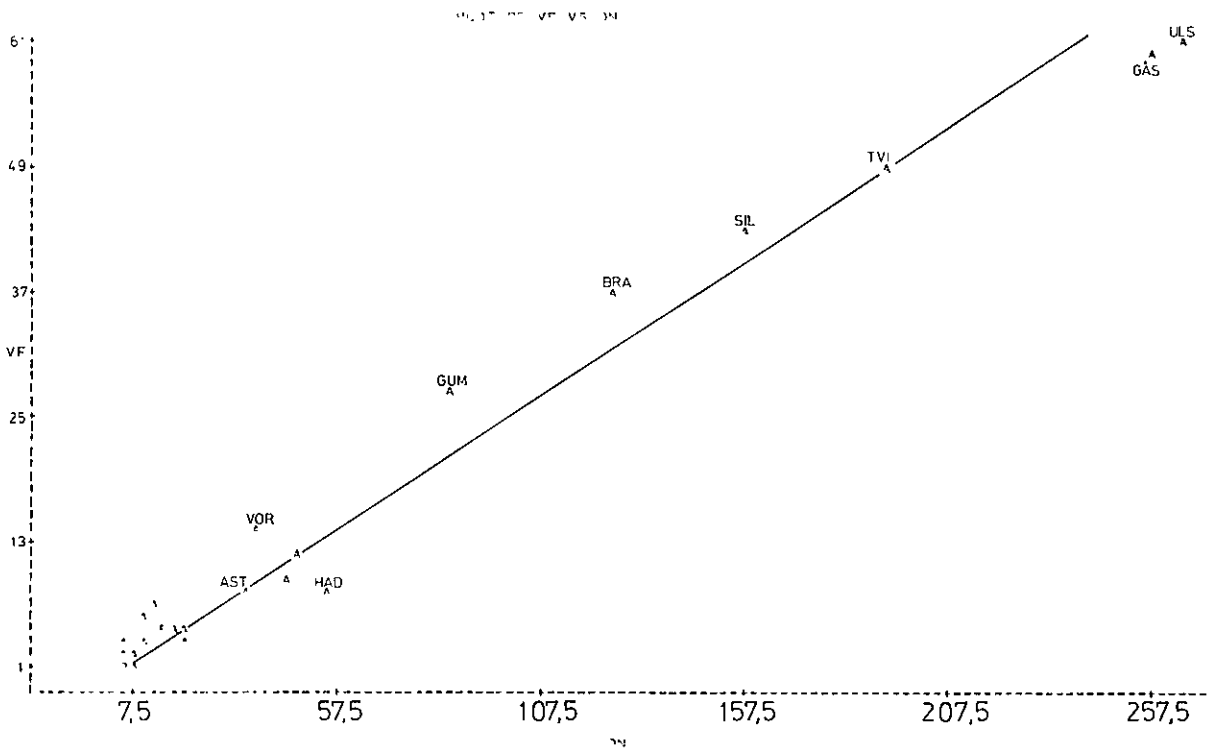
Der sker en formindskelse af den procentvise andel af uorganisk fosfor mellem st. VEJ og st. ÅLU, svarende til, at uorganisk fosfor bliver bundet til/i partikulært materiale på åstrækningen. Der sker ingen væsentlig ændring i den procentvise andel af uorganisk fosfor mellem st. SIL og st. TVI.

Vandføring vs organisk P (figur 5.9).

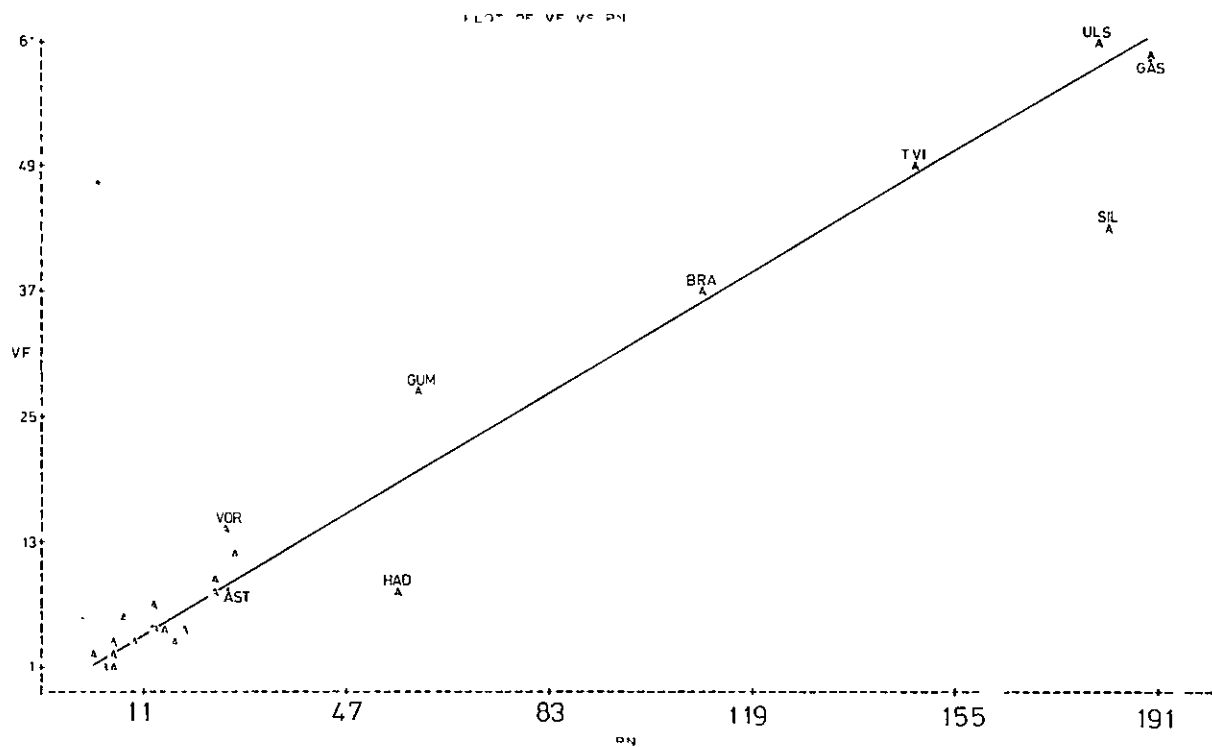
Der fjernes/omdannes organisk fosfor mellem st. SIL og st. TVI samt mellem st. GÅS og st. ULS.



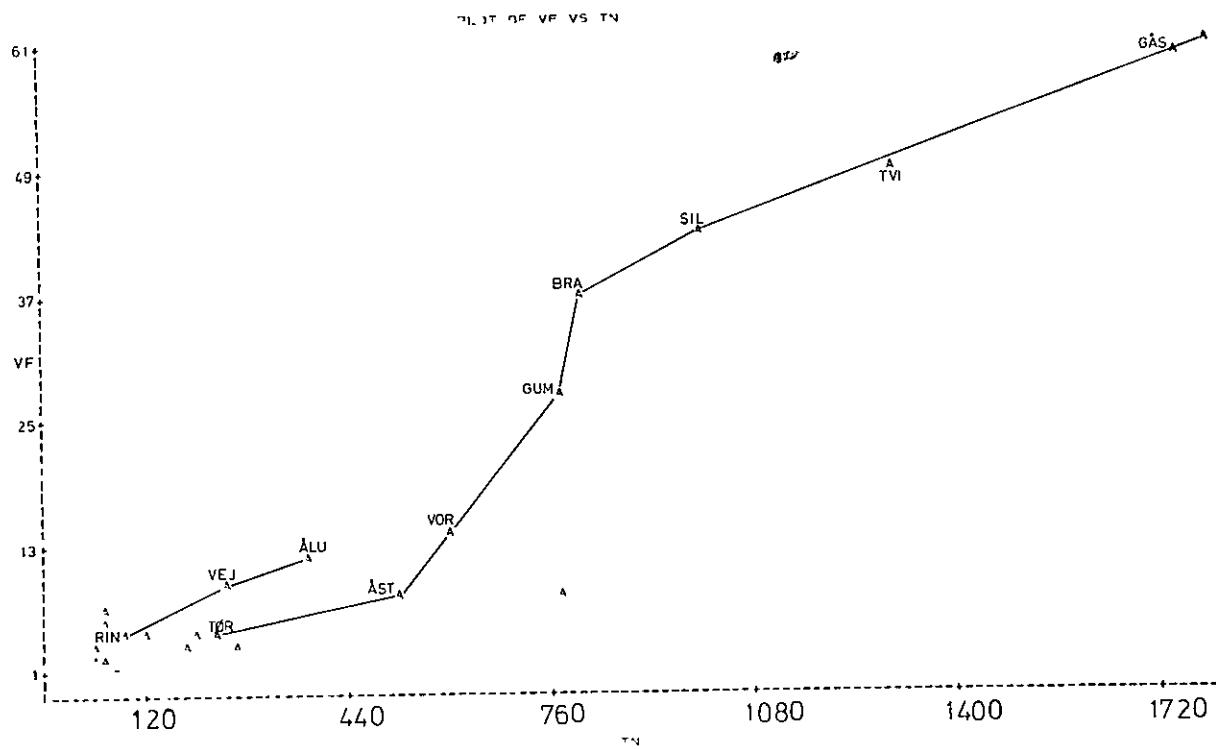
Figur 5.2 Afbildning af vandføring ( $\cdot 10^7 \text{ m}^3/\text{år}$ ) imod transport af opløst uorganisk kvælstof ( $\cdot \text{ t}/\text{år}$ ).



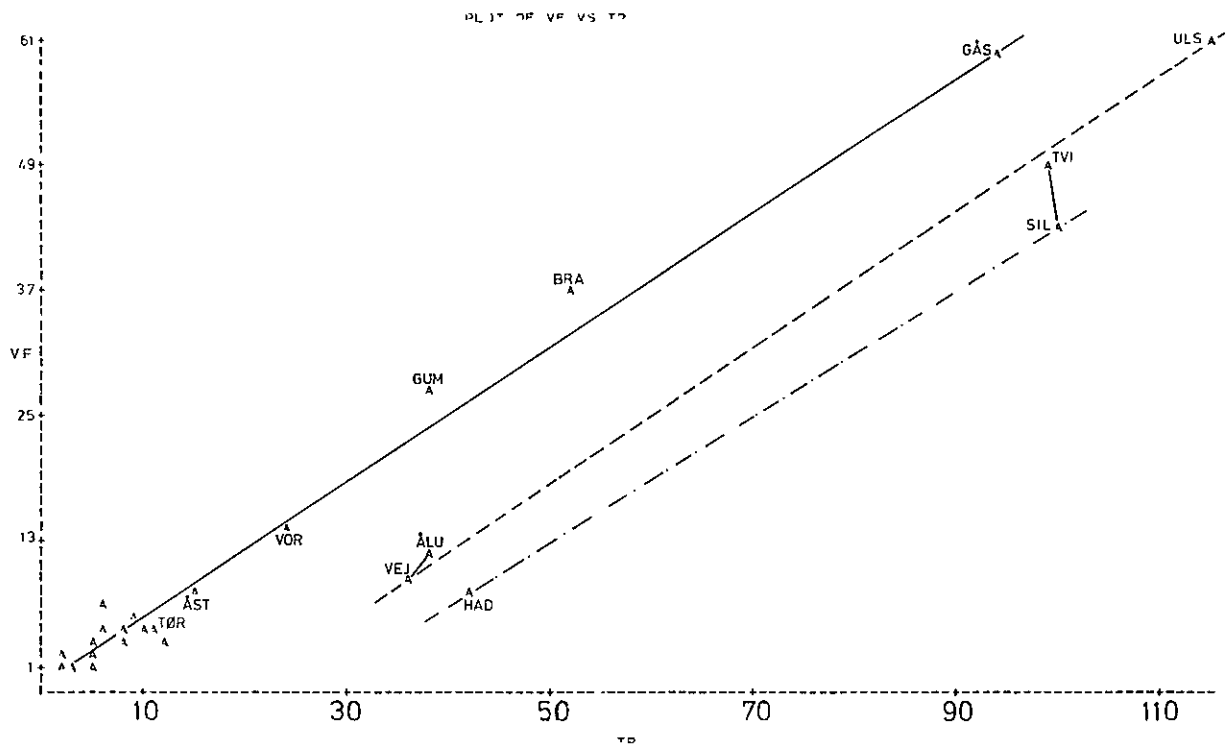
Figur 5.3 Afbildning af vandføring ( $\cdot 10^7 \text{ m}^3/\text{år}$ ) imod transport af opløst organisk kvælstof ( $\cdot \text{ t}/\text{år}$ ).



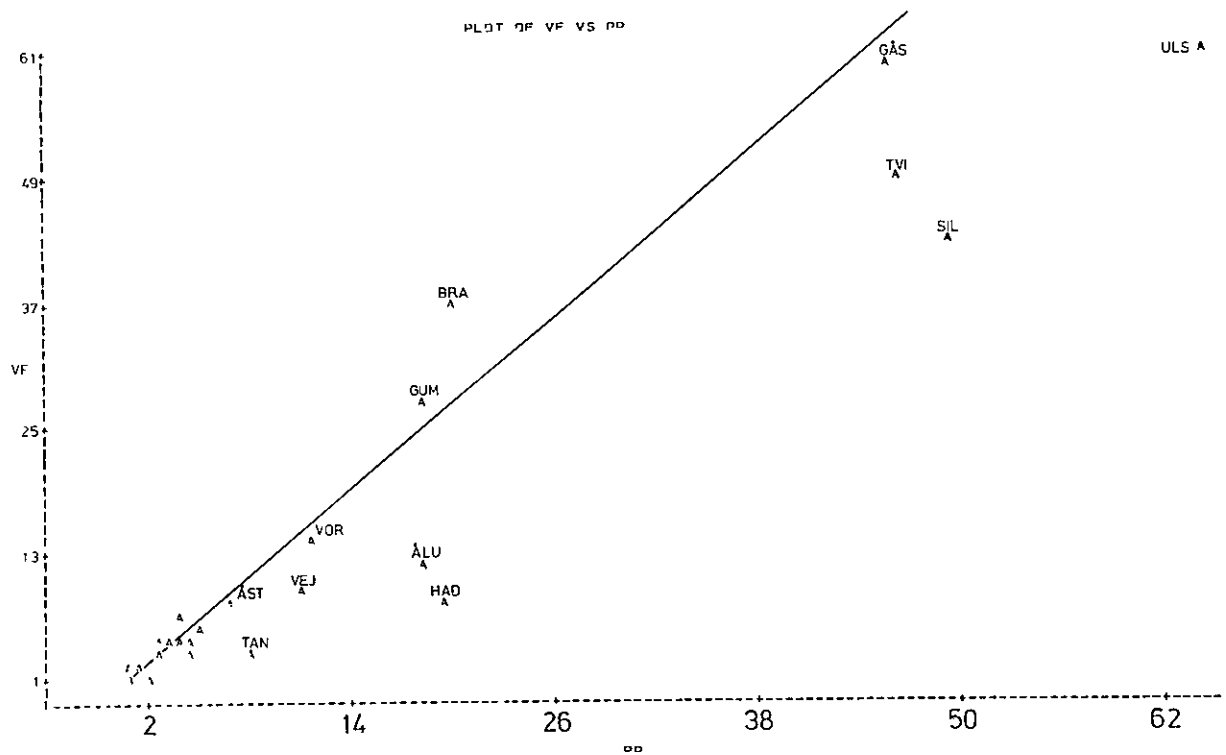
Figur 5.4 Afbildning af vandføring ( $\cdot 10^7 \text{ m}^3/\text{år}$ ) imod transport af partikulært kvælstof ( $\cdot \text{t}/\text{år}$ ).



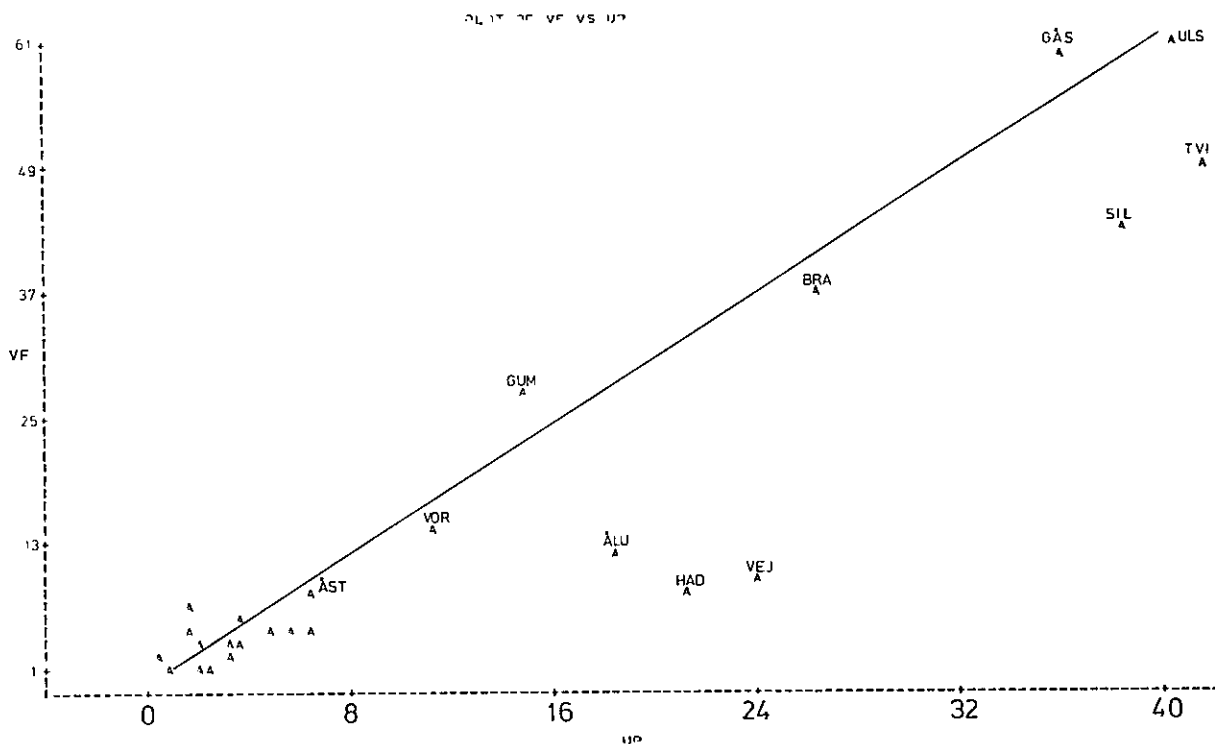
Figur 5.5 Afbildning af vandføring ( $\cdot 10^7 \text{ m}^3/\text{år}$ ) imod transport af total kvælstof ( $\cdot \text{t}/\text{år}$ ).



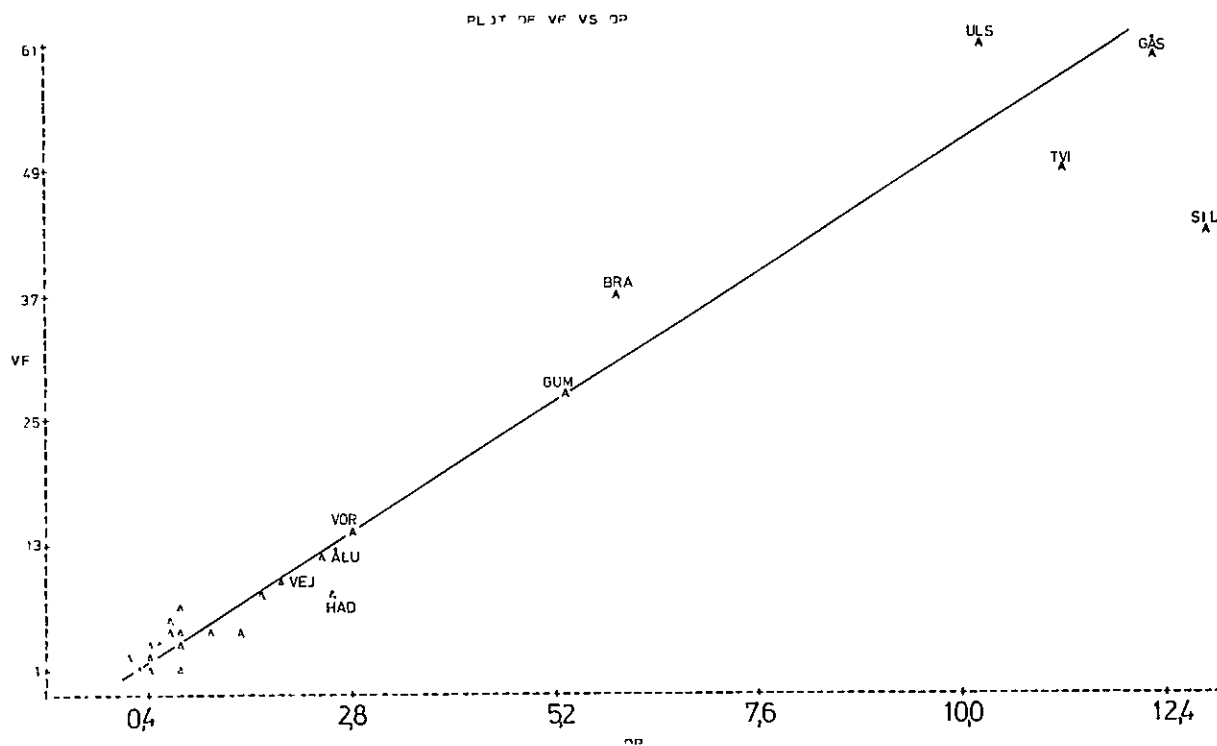
Figur 5.6 Afbildning af vandføring ( $\cdot 10^7 \text{ m}^3/\text{år}$ ) imod transport af total fosfor ( $\cdot \text{t}/\text{år}$ ).



Figur 5.7 Afbildning af vandføring ( $\cdot 10^7 \text{ m}^3/\text{år}$ ) imod transport af partikulært fosfor ( $\cdot \text{t}/\text{år}$ ).



Figur 5.8 Afbildning af vandføring ( $\cdot 10^7 \text{ m}^3/\text{år}$ ) imod transport af opløst uorganisk fosfor ( $\cdot \text{ t}/\text{år}$ ).



Figur 5.9 Afbildning af vandføring ( $\cdot 10^7 \text{ m}^3/\text{år}$ ) imod transport af opløst organisk fosfor ( $\cdot \text{ t}/\text{år}$ ).

I tabel 5.3 er angivet resultaterne af en regressionsanalyse for årstransportværdierne (eksklusiv st. LAN og st. A.10) som funktion af afstrømningsareal. Regressionslinierne er således udtryk for normalafstrømningen for Gudenåsystemet (inklusiv spildevand) i 1974, og disse linier vil ved fremtidige undersøgelser kunne danne referencegrundlag for en eventuel forbedring eller forværring i systemet.

Anvendelse af regressionslinierne på fosfortransporten i 1974 i delsystemer giver oplysning om ophobning/tilførsel af fosfor i de pågældende delsystemer. Tabel 5.4 viser en oversigt over beregningsresultater, sammenlignet med de i afsnit 6.2 beregnede ophobninger/tilførsler.

Variabel		Regressionslinie		Standard fejl	
Uafhængig	Afhængig	Hældning t/år · km <sup>2</sup>	Skæringspunkt ton/år	Hældning t/år · km <sup>2</sup>	Skæringspunkt ton/år
A	TN	0,94917	56,82	0,05331	35,63
	PN	0,11195	- 1,18	0,00631	4,22
	ON	0,14559	- 3,40	0,00390	2,61
	UN	0,70117	60,03	0,05168	34,54
	TP	0,06263	3,33	0,00422	2,82
	PP	0,03189	0,69	0,00214	1,43
	UP	0,02364	2,80	0,00227	1,52
	OP	0,00722	0,09	0,00050	0,34

Tabel 5.3 Regressionslinier for uafhængig variabel A = oplandsareal. Enhed for afhængig variabel er ton/år. Enhed for uafhængig variabel er km<sup>2</sup>.

		TØR - ÅST	ÅST - VOR	SIL - TVI	TVI - GÅS	GÅS - ULS	ULS - LAN	LAN - A.10	VEJ - ÅLU
% ophobning	PP	17	81	64	42	-99	-36		-250
	UP	59	-	14	52	-20	43		375
	OP	24	19	22	6	19	93		- 25
ton ophobet	TP	3,0	2,5	9,6	28,8	-13,2	1,9	-0,7	2,0
ton ophobet +)	TP	~ 0	1,7	8,4	29,0	-16,5	~ 0	~ 0	2,4

Tabel 5.4 Beregning af fosforophobning/tilførsel i delstrækninger af Gudenåsystemet ved hjælp af regressionslinierne i tabel 5.3 og de ved undersøgelsen målte transportværdier ved hovedstationerne. Et - foran en værdi i tabellen betyder, at der ertale om en tilvækst.

+) Ophobning, beregnet i afsnit 6.2.

Det fremgår, at anvendelse af regressionslinierne giver værdier for ophobning/tilførsel, der er rimeligt overensstemmende med de observerede værdier. Dårlig overensstemmelse for strækningen Tørring til Åstedbro skyldes, at der i dette område af Gudenåsystemet optræder unormale fosforbidrag fra afstrømningsområdet, jf. afsnit 6.2.

I vandløbsstrækningerne ÅST-VOR og SIL-TVI sker hovedparten af fosforophobning i form af partikulært bundet fosfor (PP), medens den på strækningen TVI-GÅS (Tange sø) er nogenlunde ligeligt fordelt mellem partikulært bundet fosfor og uorganisk fosfor (UP). Uorganisk fosfor indbygges i Tange sø i algebiomasse og sedimenteres med døde alger. Denne elimineringsmekanisme fortsætter på en del af åstrækningen efter Tangeværket.

Hovedparten af den fosformængde, der udledes på strækningen GÅS-ULS, bindes til partikulært materiale.

Fordelingen af ophobet/fjernet stof på strækningen ULS → LAN for de enkelte fosforfraktioner må tages med forbehold, da de mængder, der omsættes, udgør en meget lille del af den totale transport.

I Nørreåen bindes på strækningen VEJ-ÅLU hovedparten af den mængde uorganisk fosfor, der ifølge beregningerne forsvinder, til partikulært materiale i vandmassen.

Tabel 5.5 viser beregninger af fosforkoncentrationer i opslemmet, partikulært materiale ved 8 stationer, hvor materialetransport er undersøgt af Geografisk Institut, Århus Universitet, / 7 /, samt koncentrationen af opslemmet, partikulært materiale ved disse stationer.

	Årsvand- føring $10^6 \text{ m}^3$ / 5 /	Partiku- lært stof t / 7 /	Partiku- lært P t	P-konc. i parti- kul.stof g/kg	Partiku- lært stof mg/l
Matstrup å	3,09	196	1,66	8,47	63,4
Fulbro mølle (Tåning å)	39,4	362	2,36	6,52	9,2
Voervadsbro	140	2023	11,2	5,54	14,5
Smingevads bro(Gjern å)	28,8	505	4,23	8,38	17,5
Kongensbro	479	4268	46,3	10,8	8,9
Vindelsbæk bro, Tange å	32,2	779	7,92	10,2	24,2
Tangeværket	589	5278	45,6	8,65	9,0
Ulstrup	609	5992	64,1	10,7	9,8

Tabel 5.5 Beregning af koncentrationen af partikulært stof og fosforkoncentrationen i dette ved 8 stationer i Gudenåsystemet.



På strækningen fra Matstrup å's udløb i Gudenåen efter Åstedbro til Voervadsbro sedimenteres således maksimalt 48,9 mg partikulært materiale pr. liter vand fra Matstrup å ( $63,4 - 14,5 = 48,9$ ). I alt vil der således maksimalt sedimenteres  $48,9 \cdot 3,09 = 151$  ton partikulært materiale. Fosforkoncentrationen i det sedimenterede materiale er 8,47 kg/t. Der sedimenteres således maksimalt  $151 \cdot 8,47 \cdot 10^{-3}$  t P = 1,3 t P.

Analoge beregninger kan foretages for strækningerne Smingevadsbro-Kongensbro (SIL-TVI) og Vindelsbæk bro -Tangeværket (TVI-GÅS). De således beregnede mængder for fosforophobning er i tabel 5.6 sammenlignet med de mængder for ophobning af partikulært bundet fosfor, der ved hjælp af tabel 5.4 kan beregnes for de pågældende strækninger.

Det fremgår, at en væsentlig mængde af partikulærtbundet fosfor, der ophobes mellem Åstedbro og Voervadsbro, er tilført via Matstrup å.

En væsentlig mængde af partikulærtbundet fosfor, der ophobes mellem Silkeborg Langsø og Tvillum bro, er tilført via Gjern å, og en væsentlig mængde af partikulærtbundet fosfor, der ophobes i Tange sø, tilføres via Tange å.

Vandløbsstrækning	Ophobning af partikelbundet fosfor	
	Beregning ud fra tabel 5.5	Beregning ud fra tabel 5.4 (totalt)
ÅST-VOR	1,3	1,4
SIL-TVI	2,1	4,8
TVI-GÅS	5,0	12,2

Tabel 5.6 Ophobning af partikelbundet fosfor. Alle værdier er t P/år.

## 5.1 SAMMENHÆNG MELLE M VANDFØRING OG STOFKONCENTRATIONER PÅ ÅRSBASIS

### Kvælstof vs vandføring.

Koncentrationen af total-kvælstof vokser normalt ved tiltagende vandføring, idet hovedparten af kvælstof i vandet tilføres med drænvand og overfladisk afstrømmende vand. Det samme gælder for nitratkvælstof, der udgør hovedparten af total-kvælstoffet, jf. figur 5.10. Dette forhold er blandt andet konstateret ved drænvandsundersøgelser, udført af Statens marskforsøg, Højer.

Koncentrationen af ammoniakkvælstof i vandløb, der ikke direkte er påvirket af spildevand, er gennemgående mindre end 0,3 mg/l. I disse vandløb vokser koncentrationen af ammoniakkvælstof ved tiltagende vandføring, idet koncentrationerne nærmer sig asymptotisk til ca. 0,3 mg/l, jf. figur 5.11.

I spildevandspåvirkede vandløb iagttages en fortynding af koncentrationen af ammoniakkvælstof ved voksende vandføring. Koncentrationen aftager normalt ret hurtigt med voksende vandføring. Eks.: figur 5.12.

I vandløb, som periodisk påvirkes af høje ammoniaktilførsler (eventuelt fra landbrug), kan begge effekter observeres. Eks.: figur 5.13.

Tange å er en undtagelse fra ovenstående, idet der ved voksende vandføring sker en jævn stigning i koncentrationen af ammoniakkvælstof fra ca. 1 - ca. 2 mg/l. Dette kan dels skyldes tilførslen af spildevand fra Rødkjærsbro, dels at tilledt ammoniakkvælstof fra Kjellerup på grund af toksisk materiale i spildevandet (kviksølv) ikke nitrificeres på strækningen mellem Kjellerup og hovedstationen ved Vindelsbæk bro, jf. figur 5.14.

Fosfor vs vandføring.

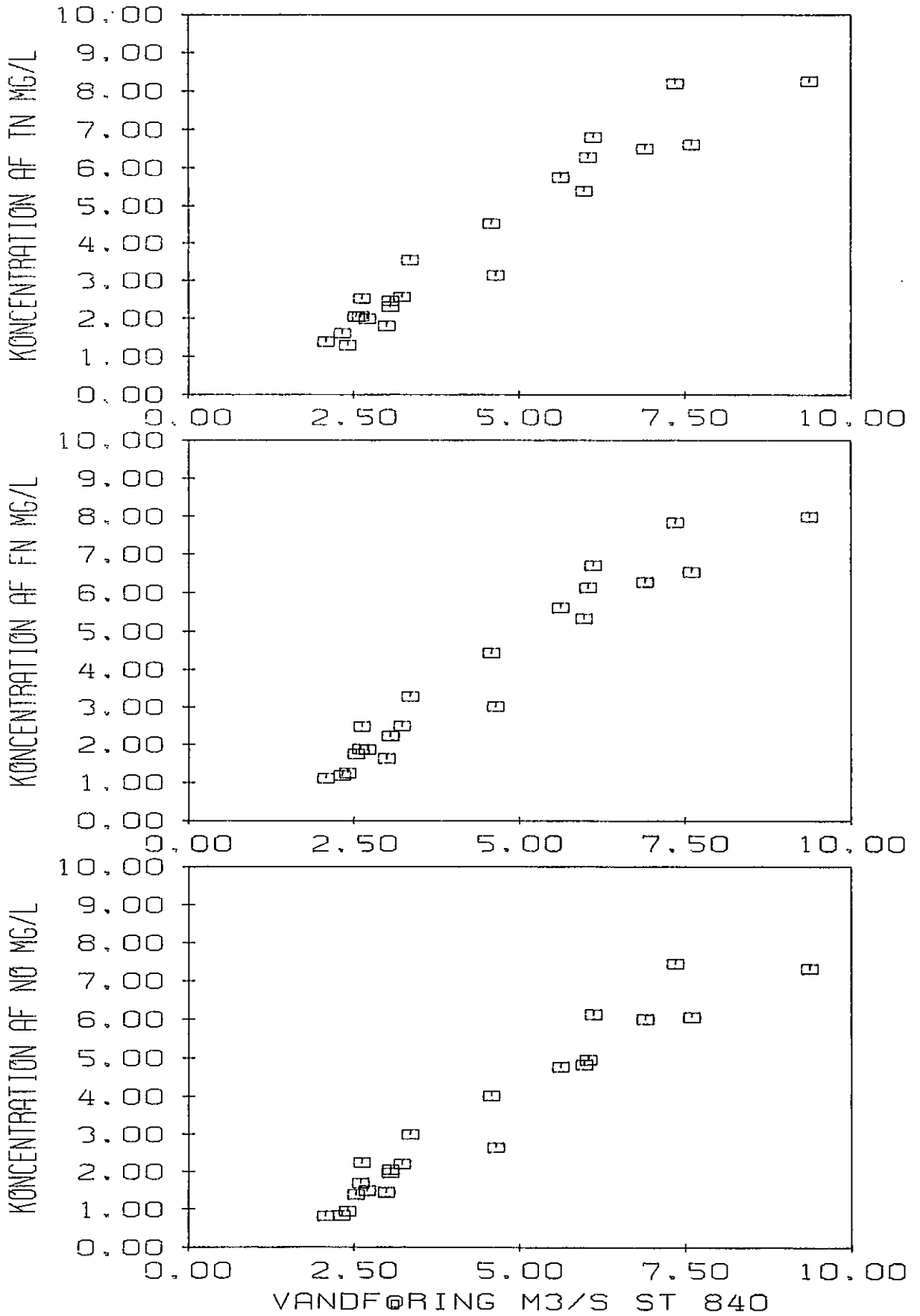
Koncentrationen af total-fosfor aftager normalt med voksende vandføring, idet hovedparten af fosfor i vandet tilføres med spildevand, jf. figur 5.15, og voksende vandføring bevirker således en fortynding af fosforkoncentrationen. Det samme gælder for orthofosfat, jf. figur 5.16.

Ved maximale værdier for vandføring nærmer koncentrationen af orthofosfat sig ved mange stationer asymptotisk til ca. 0,06 mg P/l. Denne værdi kan således skønsmæssigt anslås at være "normal"-koncentrationen, hvis der ikke forekom spildevandstilledninger. Spildevandstilledningerne bidrager ud over orthofosfat med partikulærtbundet og opløst organisk fosfor, medens den naturlige afstrømning hovedsagelig sker i form af orthofosfat. Antages det, at denne grænsekonzentration af orthofosfat er lig totalfosforkoncentrationen i basisafstrømningen til vandløbene i Gudenåsystemet, svarer dette til en afstrømning på 0,20 kg fosfor/ha · år.

I forbindelse med stoftransportopgørelserne, jf. afsnit 5.2, er for landbrugsarealer fundet fosforafstrømningsværdier på

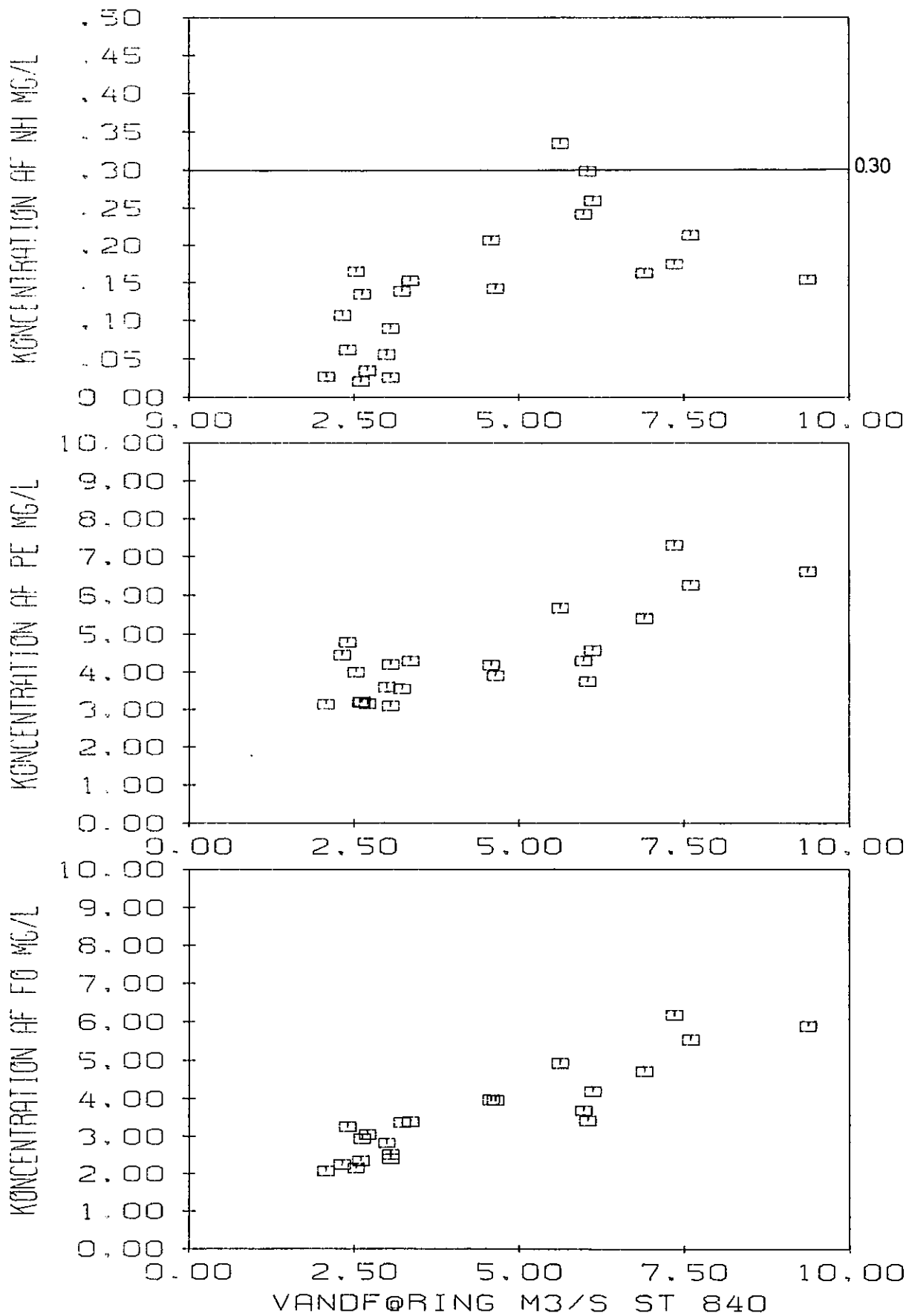
VOELBÆK	0,17 kg P/ha · år
GJELBÆK	0,43 kg P/ha · år

For et blandet skov- og landbrugsområde ved Granslev å er fundet 0,15 kg P/ha · år.



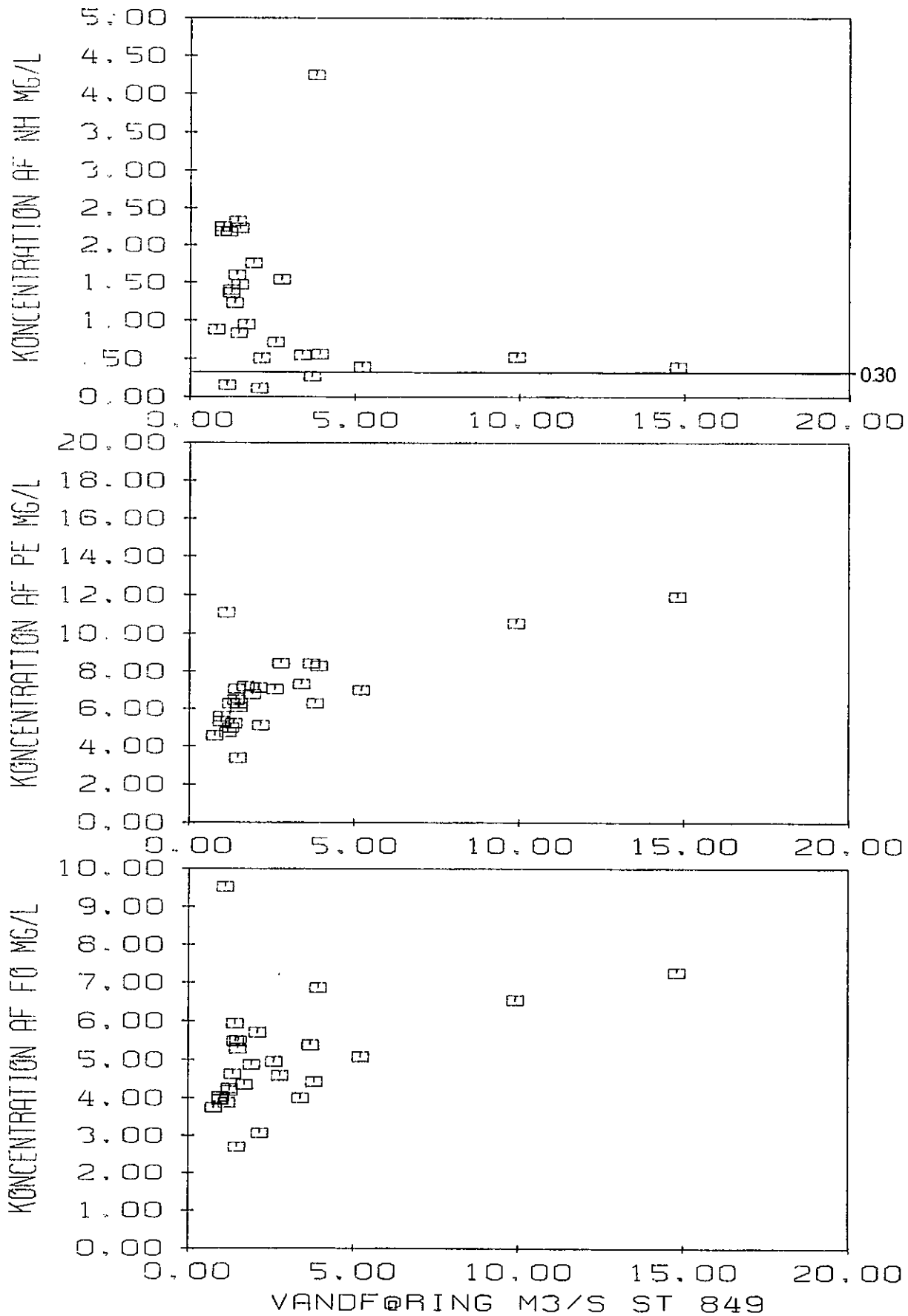
Figur 5.10

(Forkortelser vedr. analyseparametre som angivet på side 11).



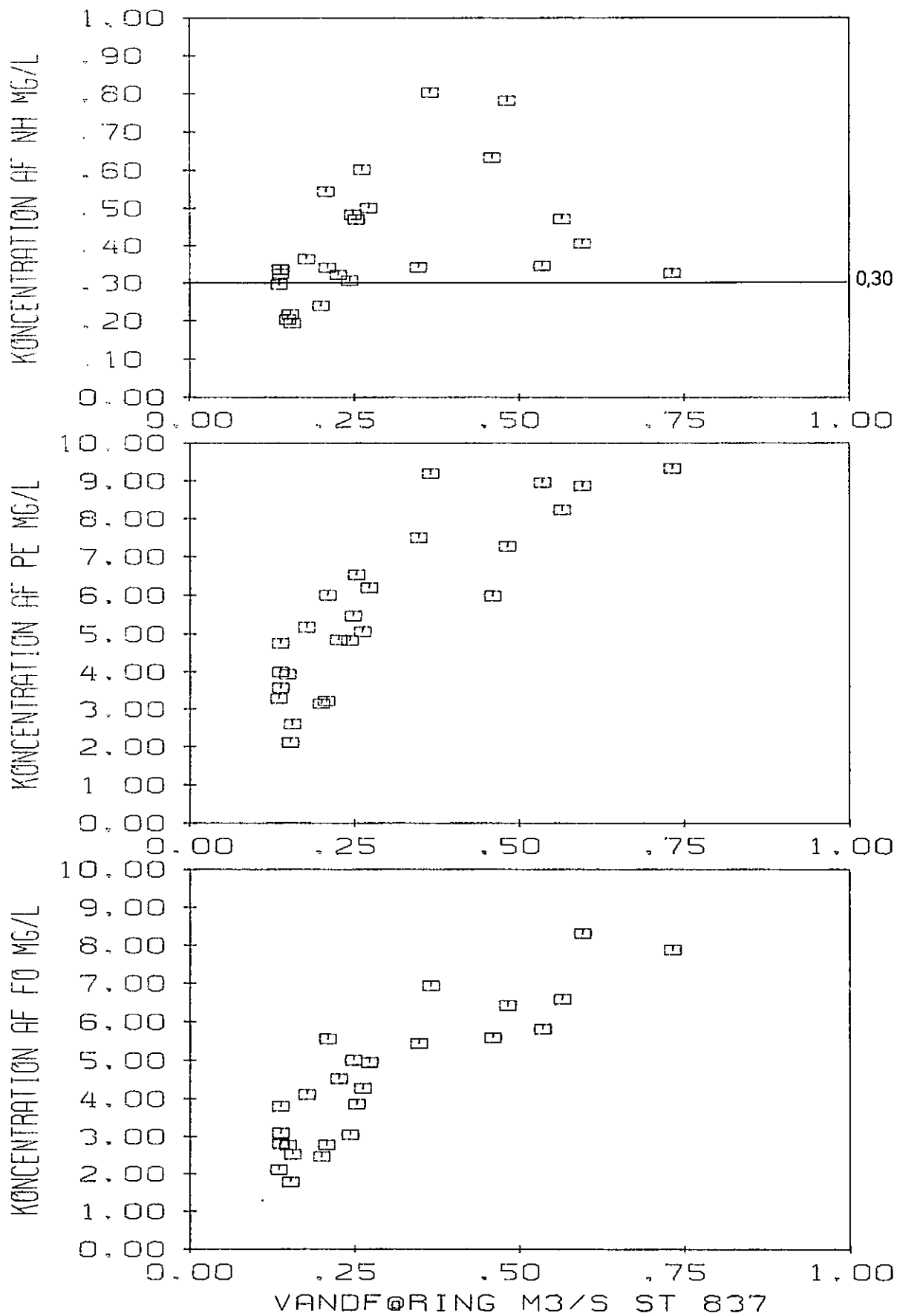
Figur 5.11

(Forkortelser vedr. analyseparametre som angivet på side 11).



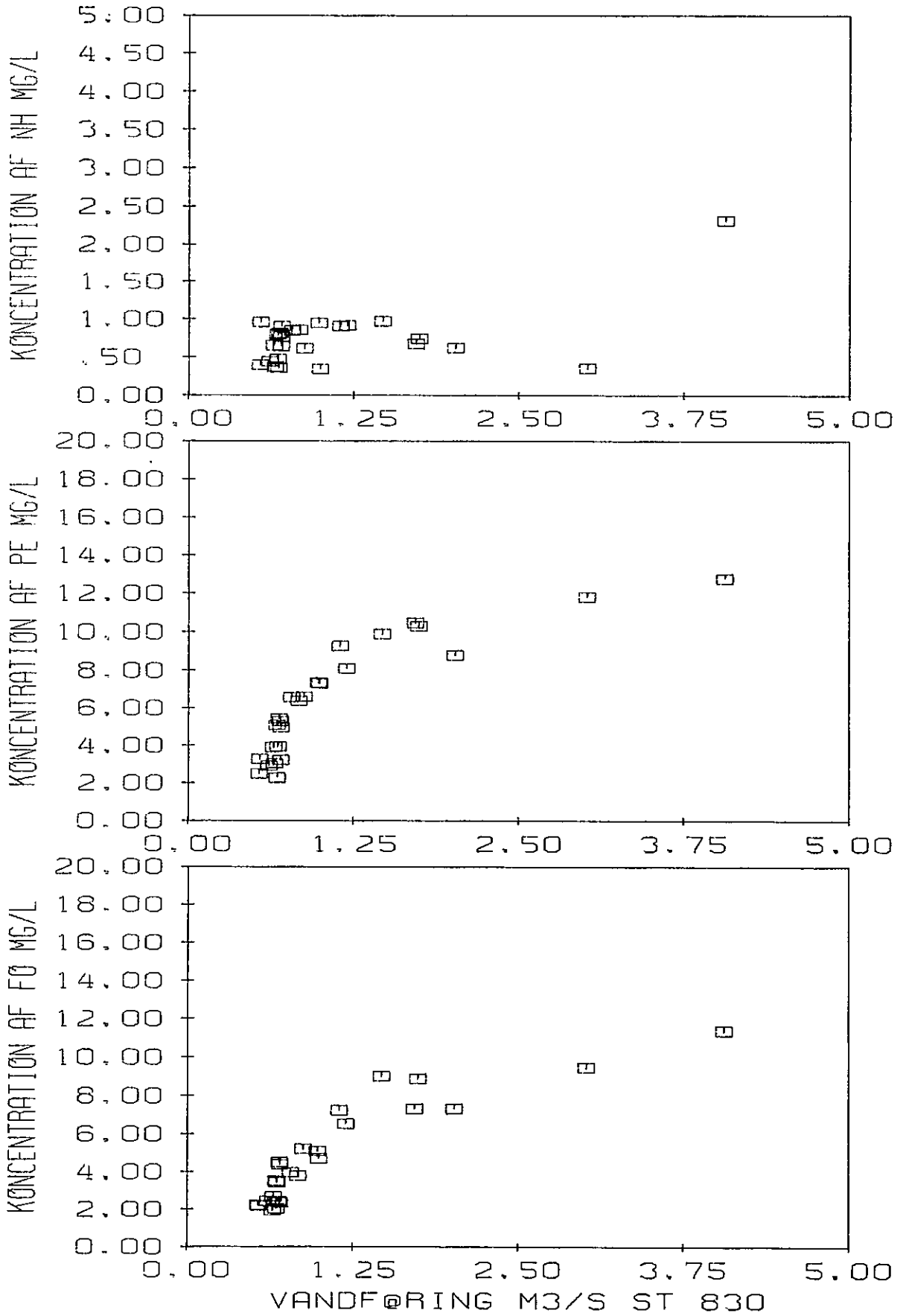
Figur 5.12

(Forkortelser vedr. analyseparametre som angivet på side 11).



Figur 5.13

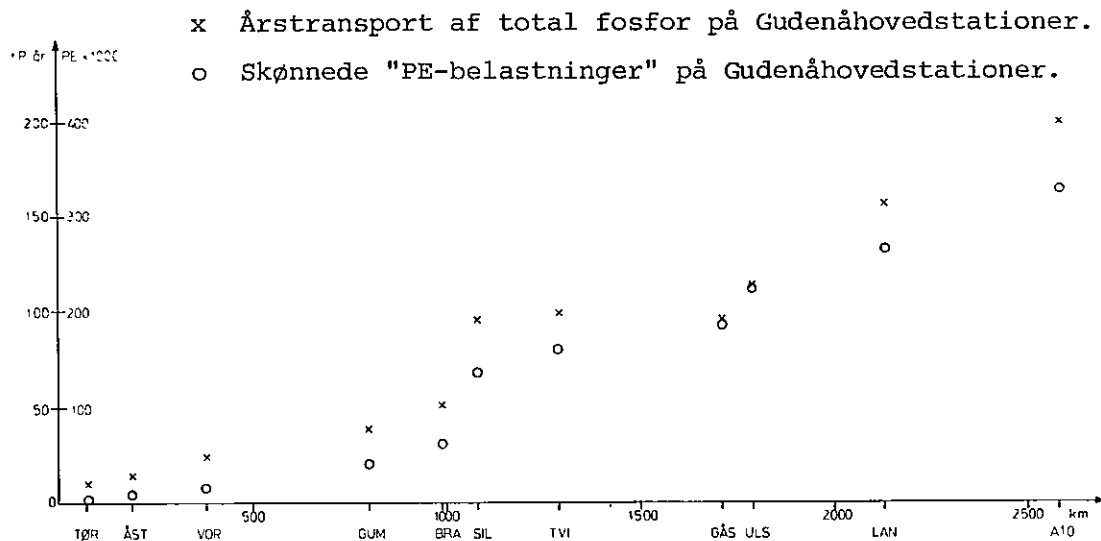
(Forkortelser vedr. analyseparametre som angivet på side 11).



Figur 5.14

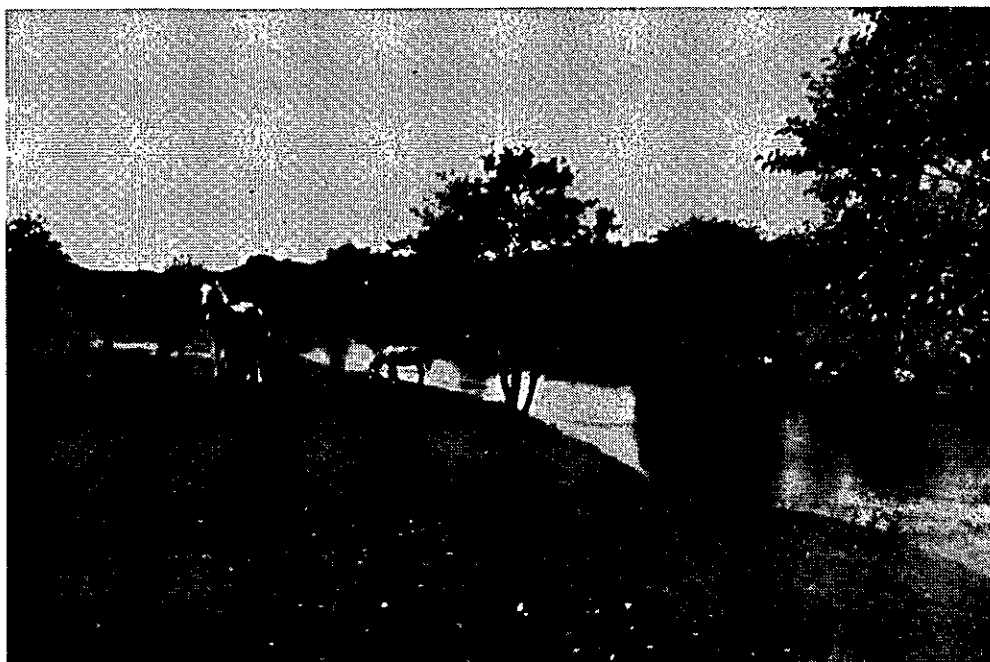
(Forkortelser vedr. analyseparametre som angivet på side 11).



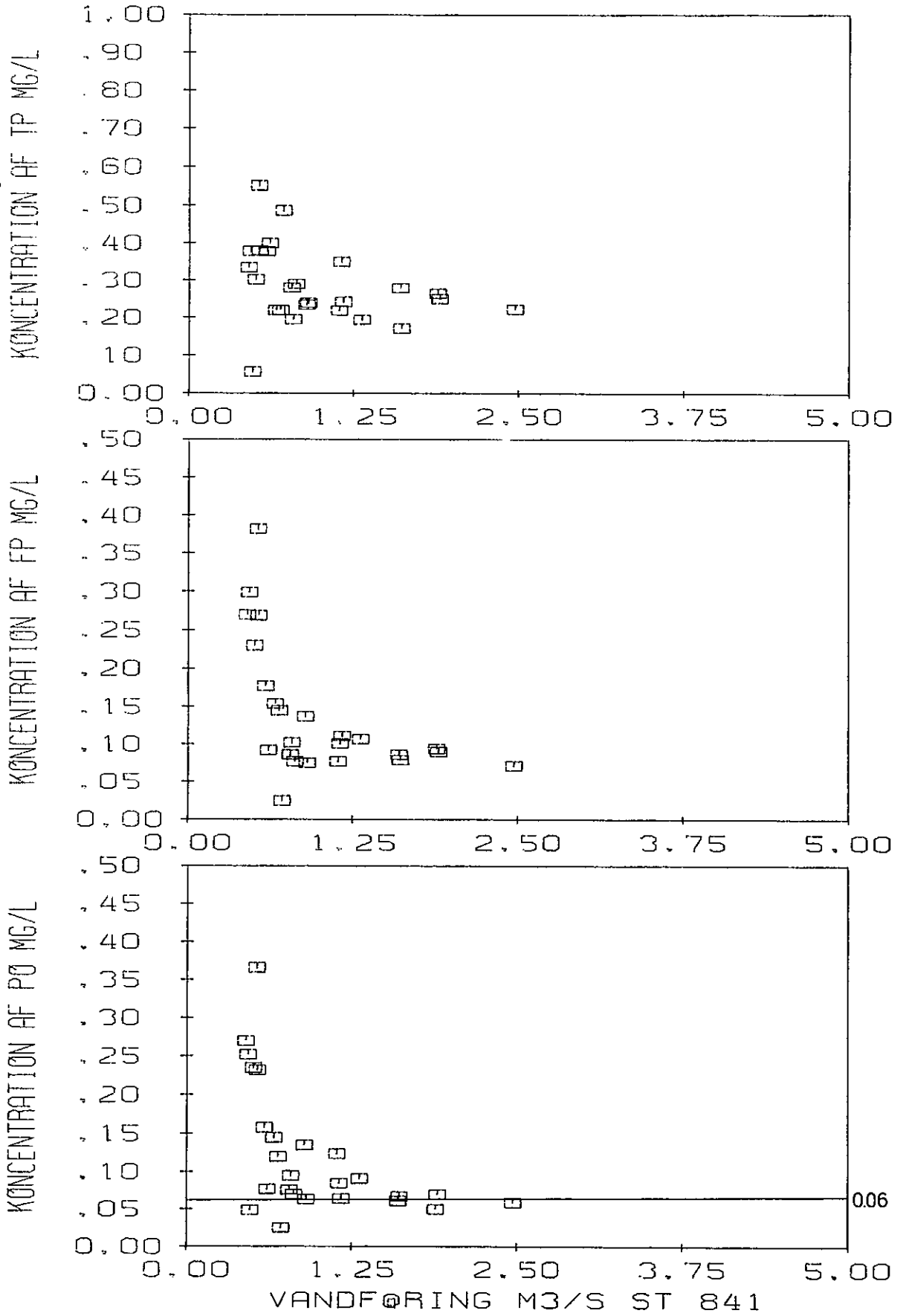


Figur 5.15 Sammenhørende værdier for årstransport af total-fosfor og skønnede "PE-belastninger" ved Gudenå-hovedstationer.

PE betyder her personækvivalent.



Gudenå ved Bjerringbro.



Figur 5.16

## 5,2 STOFSTRØMNING FRA SKOV- OG LANDBRUGSOMRÅDER

For at vurdere stofbidraget fra skov- og landbrugsområder til vandsystemet gennemførtes stoftransportmålinger fra tre områder udvalgt således, at de ikke er præget af bysamfund.

Undersøgelserne er udført dels af Hedeselskabet og dels af VKI, og VKI har bearbejdet det samlede stoftransportmateriale.

### Stoftransport, Granslev å

Granslev å oplandet frem til og med Granslev by ved Røde Mølle (areal: 43 km<sup>2</sup>) består af ca. 50 % skov- og 50 % landbrugsarealer og modtager kun i mindre omfang spildevand fra kloaksystemer. Stofmængderne fra disse er teoretisk opgjort til 3,3 ton kvælstof og 1,1 ton fosfor på årsbasis.

Stoftransporten ved målestationen ved Røde Mølle er i perioden april 1974 - april 1975 opgjort til:

	Stoftransport apr.74 - apr.75 ton	Heraf fra spildevand ton	Afstrømning fra 43 km <sup>2</sup>	
			ton	kg/ha · år
Total N	33,4	3,3	30,1	7,0
Total P	1,67	1,1	0,57	0,13

Tabel 5.7 Stoftransport i Granslev å 1974 - 75.

Spildevandsbidraget er beregnet ud fra teoretiske værdier, nemlig: 300 PE med mekanisk rensning og 700 PE med biologisk rensning. Der er således en del usikkerhed på spildevandsbidragets størrelse, jf. sammenligninger i spildevandsrapporten /1/ mellem aktuel udledning og teoretisk beregnet udledning fra rensningsanlæg i Gudenåområdet. Ved de fleste undersøgte rensningsanlæg konstateredes det, at den aktuelle udledning er mindre end den teoretisk beregnede udledning. Er dette også tilfældet i Granslev å's opland, vil afstrømningsværdierne, angivet i tabel 5.7, være lidt for lave. Ved beregninger af afstrømningsbidrag fra blandede skov- og landbrugsområder i Himmelbjergsøsystemet er der derfor anvendt følgende værdier:

Total N: 7,0 kg/ha · år

Total P: 0,15 kg/ha · år.

#### Stoftransport, Gjelbæk

Gjelbæk (sideløb til Gjern å) med målestation ved Lyngby bro har her et opland på ca. 12 km<sup>2</sup>. 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):

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

Stoftransport, Voelbæk

Voelbæk med målestation før afløb fra Voel bys rensningsanlæg har et opland på 11 km<sup>2</sup>. 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):

	<u>Total N</u>	<u>Total P</u>
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		

I Hedeselskabets rapport: Landbrugets potentielle bidrag til vandløbs næringssaltbelastning / 8 / er mere detaljeret redegjort for næringsstofbalancen inden for Gjelbæk og Voelbæk oplandet.

I bilag 3 er anført stoftransporter og stoftransportkurver for Gjelbæk og Voelbæk for den toårige mæleperiode.

## 6. RESULTATER - ÅRSTRANSPORTER 1974

### 6.1 TRANSPORTER - ÅRSOPGØRELSER

I bilag 1 er anført stoftransporterne ved de enkelte hovedstationer i Gudenåsystemet.

Figur 6.1 viser et eksempel på opstillingerne. De anvendte forkortelser på figurerne er:

ÅR	år
MD	måned
DG	dato
VF	vandføring
TOT-N	total-kvælstof
PARTN	partikulært kvælstof
ORG-N	opløst organisk kvælstof
UORGN	opløst uorganisk kvælstof
TOT-P	total-fosfor
PARTP	partikulært fosfor
UORGP	opløst uorganisk fosfor
TOTPE	totalt iltforbrug fra oxiderbart materiale
OPLPE	iltforbrug fra opløst oxiderbart materiale
TOTOC	total organisk kulstof
ORG-P	opløst organisk fosfor

I tabel 6.1 er anført årsoppgørelser for stoftransport ved de enkelte hovedstationer i Gudenåsystemet i 1974 for total-kvælstof, total-fosfor og total-iltforbrug fra oxiderbart materiale.

STOFFTRANSPORTER 1973-75 STATION=B37 OMFADE=LIN														
AR	MA	DA	VF	TOT-N	PARTN	ORG-N	UORGN	TOT-P	PARTP	URRGP	TOTPE	OPLPE	TOTOC	ORG-P
			MG/S	MG/L	MG/L	MG/L	MG/L	MG/L	MG/L	MG/L	MG/L	MG/L	MG/L	MG/L
73	12	10	0.25	7.843	0.195	0.462	7.377	0.146	0.047	0.096	5.467	5.003	-1.000	0.003
74	1	9	0.26	10.210	0.585	0.506	9.109	0.102	0.042	0.045	5.055	4.272	-1.000	0.014
74	1	31	0.53	12.643	0.573	0.679	11.412	0.307	0.230	0.048	8.963	5.803	-1.000	0.029
74	2	13	0.73	11.853	0.233	0.080	11.425	0.155	0.083	0.051	9.320	7.870	-1.000	0.020
74	2	25	0.35	9.862	0.375	0.039	7.849	0.142	0.070	0.063	7.497	5.430	16.000	0.009
74	3	5	0.25	5.155	0.243	0.175	5.697	0.129	0.070	0.049	6.525	3.057	10.000	0.010
74	3	25	0.24	5.212	0.120	0.580	4.542	0.122	0.035	0.065	4.032	3.050	-1.000	0.021
74	4	2	0.21	4.783	0.157	0.069	4.919	0.134	0.079	0.054	3.215	2.770	16.000	0.031
74	4	21	0.16	3.100	0.475	0.275	2.350	0.109	0.057	0.055	2.533	2.517	8.000	0.008
74	5	5	0.20	2.925	0.172	0.016	2.717	0.157	0.074	0.069	3.145	2.455	11.000	0.015
74	5	20	0.15	2.096	0.255	0.100	2.643	0.259	0.030	0.160	3.935	2.765	15.000	0.030
74	6	11	0.15	2.877	0.143	0.061	2.579	0.101	0.049	0.045	2.110	1.772	10.000	0.007
74	6	15	0.14	2.827	0.075	0.291	2.434	0.171	0.073	0.071	3.995	3.990	4.000	0.007
74	7	31	0.14	2.750	0.025	0.200	2.435	0.185	0.095	0.087	4.760	3.800	10.000	0.003
74	8	20	0.14	2.850	1.795	-1.000	2.735	0.335	0.085	0.120	3.570	2.800	8.000	0.130
74	9	4	0.13	2.775	0.170	0.290	2.215	0.164	0.069	0.075	3.277	2.110	17.000	0.020
74	9	16	0.19	3.511	0.291	0.361	2.938	0.189	0.073	0.091	5.002	5.550	15.000	0.010
74	10	6	0.21	4.470	0.140	0.250	4.020	0.155	0.054	0.103	6.190	4.945	19.000	0.005
74	10	22	0.27	3.025	0.275	0.423	3.027	0.156	0.049	0.077	4.847	4.522	22.000	0.009
74	11	13	0.23	4.675	0.162	0.481	4.031	0.119	0.032	0.060	8.855	8.305	52.000	0.030
74	11	18	0.60	3.165	0.075	0.390	8.730	0.140	0.050	0.072	5.977	5.582	26.000	0.017
74	12	3	0.46	8.054	0.125	0.267	7.657	0.121	0.031	0.072	5.977	5.582	26.000	0.017
75	1	7	0.48	4.397	0.225	0.507	7.655	0.197	0.061	0.095	7.267	6.412	-1.000	0.031
75	2	5	0.57	7.750	0.238	0.491	7.021	0.159	0.075	0.042	8.227	6.540	13.000	0.041
75	3	5	0.37	6.175	0.100	0.955	5.120	0.255	0.150	0.045	9.185	6.930	11.000	0.060

STOFFTRANSPORTER 1973-75 STATION=E37 OMFADE=LIN														
AR	MA	DA	VF	TOT-N	PARTN	ORG-N	UORGN	TOT-P	PARTP	URRGP	TOTPE	OPLPE	TOTOC	ORG-P
			G/SEK	G/SEK	G/SEK	G/SEK	G/SEK	G/SEK	G/SEK	G/SEK	G/SEK	G/SEK	G/SEK	G/SEK
73	12	10	0.25	1.53	0.25	0.12	1.82	0.04	0.01	0.02	1.35	1.24	-1.00	0.00
74	1	9	0.26	2.53	0.15	0.13	2.79	0.03	0.01	0.01	1.33	1.12	-1.00	0.00
74	1	31	0.53	6.75	0.31	0.35	6.10	0.16	0.12	0.03	4.75	1.10	-1.00	0.02
74	2	13	0.73	9.59	0.16	0.22	2.72	0.05	0.02	0.04	6.41	5.76	-1.00	0.01
74	2	25	0.35	3.03	0.11	0.04	1.44	0.04	0.02	0.01	2.63	1.83	5.68	0.00
74	3	5	0.24	1.27	0.07	0.04	1.44	0.04	0.02	0.01	1.65	0.94	2.53	0.00
74	3	25	0.24	1.27	0.03	0.15	1.11	0.03	0.01	0.02	1.17	0.74	-1.00	0.01
74	4	2	0.21	0.97	0.01	0.01	0.88	0.03	0.02	0.01	0.57	0.54	3.19	-1.00
74	4	21	0.16	0.44	0.07	0.04	0.37	0.02	0.01	0.01	0.41	0.34	1.33	0.00
74	5	5	0.20	0.51	0.03	0.01	0.54	0.03	0.01	0.01	0.63	0.49	2.19	0.00
74	5	20	0.15	0.44	0.04	0.01	0.39	0.04	0.02	0.02	0.58	0.41	2.29	0.00
74	6	11	0.15	0.43	0.02	0.01	0.40	0.02	0.01	0.01	0.52	0.27	1.52	0.00
74	6	15	0.14	0.33	0.01	0.04	0.33	0.02	0.01	0.01	0.55	0.42	0.55	0.00
74	7	31	0.14	0.33	0.00	0.04	0.32	0.03	0.01	0.01	0.65	0.52	1.37	0.00
74	8	20	0.14	0.33	0.15	-1.00	0.32	0.03	0.01	0.02	0.49	0.38	1.10	0.02
74	9	4	0.13	0.33	0.02	0.15	0.30	0.05	0.01	0.01	0.42	0.24	2.13	0.00
74	9	16	0.19	0.75	0.02	0.04	0.30	0.03	0.01	0.02	0.73	0.73	4.20	0.00
74	10	6	0.14	0.44	0.05	0.06	0.52	0.03	0.01	0.02	1.26	1.10	3.24	0.00
74	10	22	0.27	0.97	0.03	0.06	0.84	0.03	0.01	0.02	1.26	1.10	3.24	0.00
74	11	13	0.23	1.24	0.08	0.12	0.83	0.04	0.01	0.01	1.76	1.37	4.09	0.00
74	11	18	0.60	5.47	0.04	0.11	0.91	0.03	0.01	0.03	1.10	1.02	5.15	0.00
74	12	3	0.46	3.57	0.06	0.12	3.51	0.06	0.01	0.03	5.27	4.35	32.60	0.02
75	1	7	0.48	4.05	0.11	0.25	3.71	0.09	0.03	0.05	7.52	3.11	-1.00	0.01
75	2	5	0.57	4.33	0.13	0.23	3.97	0.09	0.04	0.02	4.65	3.72	7.53	0.02
75	3	5	0.37	2.70	0.04	0.35	1.87	0.09	0.05	0.02	3.36	2.51	3.49	0.02

ARSTRANSPORT 40.5 2.2 2.9 55.5 1.4 0.6 0.6 53.2 43.4 154.3 0.2

Figur 6.1 Eksempel på stofkoncentrations- og stoftransporttabeller.

Navn	Område/ nr.	Total- kvælstof ton/år	Total- fosfor ton/år	Total iltforbrug fra oxiderbart materiale ton/år	Opland km <sup>2</sup>
TØR	GUD 833	226,3	9,9	231,4	74
ULD	ULU 834	62,5	2,9	32,5	16
ÅST	GUD 802	511,8	14,0	504,7	187
MAT	MAR 832	67,5	4,3	127,0	88
VOR	GUD 840	594,5	23,9	611,9	384
TÅN	TNG 846	102,4	7,4	261,3	124
SAB	SAT 828	50,9	8,0	154,2	124
RYB	SAT 827	54,0	5,6	220,7	170
GUM	GUD 810	760,4	37,6	1544,7	800
BEN.	KNA 835	41,6	1,0	59,0	56
BRA	GUD 851	789,1	50,8	1941,9	992
FUN	FUD 839	31,3	4,5	67,9	44
FUH	FUD 838	-	-	-	49
KÆR	SIL 813	-	-	-	61
SIL	GUD 811	987,8	95,1	2696,4	1082
LIN	LIN 837	60,5	1,4	53,2	35
GJE	GJR 841	177,4	7,4	199,0	115
TVI	GUD 801	1293,2	98,4	2895,6	1289
HIN	HIN 842	186,3	5,8	337,4	140
TAN	TAG 830	249,9	11,9	288,2	109
GÅS	GUD 822	1700,0	95,4	3598,5	1707
ULS	GUD 809	1793,9	114,4	3548,1	1787
HAD	HLA 849	761,5	41,4	672,5	292
LAN	GUD 848	2622,0	157,1	4636,9	2130
ÅLU	NRR 831	362,4	37,8	859,6	364
VEJ	NRR 803	239,1	35,3	585,5	289
SØN	SMA 824	28,9	4,9	109,5	42
RIN	NRR 812	80,9	10,6	216,3	105
A.10	GUD 829	3032,0	201,0	(5637)	2580

Tabel 6.1 Årsopgørelsen for stoftransport i Gudenå-systemet i 1974. Parentes angiver skønnet tal.

(Decimalangivelsen skyldes beregningsmæssige forhold og er ikke et udtryk for absolut nøjagtighed. Usikkerheden på de angivne tal er af størrelsesordenen 10 %).



## 6.2 FORDELING AF STOFTRANSPORT

I tabel 6.2 er stoftransporten af kvælstof og fosfor gennem hele Gudenåsystemet i 1974 fordelt på kilder, og ophobning i søer og åstrækninger er anført.

Ved udarbejdelsen er følgende generelle fremgangsmåde anvendt:

1. Kilder er opdelt i:

- landbrugsbidrag
- dambrugsbidrag
- spildevandsbidrag.

Ved de større søer er der desuden beregnet et nedbørsbidrag.

2. Landbrugsbidrag er beregnet dels som differens mellem den målte totaltransport og summen af dambrugs- og spildevandsbidrag (eks.: Tørring, st. TØR), dels på baggrund af en landbrugsbelastning i kg/ha · år, jf. afsnit 5.2 og oplandsarealets størrelse (eks.: åstrækningen fra Åstedbro, st. ÅST, til Voervadsbro, st. VOR).

3. Dambrugsbidrag er anført på baggrund af værdier, angivet i Dambrugsrapporten, / 2/.

4. Spildevandsbidrag er anført på baggrund af værdier, angivet i Spildevandsrapporten, / 1 /, og Papirfabrikrapporten, / 9 /, suppleret med teoretiske belastningsværdier fra bysamfund i området, hvor udledningsmængderne ikke er undersøgt.

5. Nedbørsbidrag er beregnet på baggrund af en skønnet nedbørsbelastning (15 kg N/ha · år og ~ 0,1 kg P/ha · år) og størrelsen af søoverfladerne.

6. Ved stationer, hvor de målte mængder er mindre end den beregnede tilførsel, og der således er foregået en ophobning henholdsvis fjernelse af fosfor og kvælstof i det foregående å-/sø-afsnit, fordeles den målte totalmængde på de enkelte kilder ved reduktion af tilførslen, fordelt på kilder, med den procentvise ophobning/fjernelse. Eksempelvis reduceres ved Voervadsbro, st. VOR, kvælstoftilførslerne med 15,6 % og fosfortilførslerne med 6,6 %. Der anvendes ens procentsatser for reduktion for de forskellige kilder, idet det forudsættes, at reduktionen kun er afhængig af totalmængderne og ikke af deres kildeoprindelse.
7. Ved gennemregningen af kildefordelingen for hele systemet anvendes beregnede kildefordelinger ved de enkelte hovedstationer som input til det følgende å-/sø-afsnit. Dette bevirker således, at der for alle hovedstationer i Gudenåløbet vil optræde et dambrugsbidrag, selv om der ikke er dambrug på den/de umiddelbart foregående å-/sø-strækninger.

Specielle forhold, der gør sig gældende i enkelte å-/søafsnit, er kommenteret i tabelkolonnen: BEMÆRKNINGER. Ud over disse skal følgende specielle forhold ved udarbejdelsen af tabellen fremhæves: pkt. 8, 9 og 10.

8. Ved beregningen af stofophobning i de enkelte søbassiner i Himmelsbjergsøerne er der anvendt en iterativ metode, idet det forudsættes, at ophobningen er en funktion af søoverfladens størrelse og stoftilførslen til søen. Fordelingsfaktorerne er beregnet på basis af følgende ligning:

$$f_i = \frac{L_i}{\sum L} \cdot \frac{A_i}{\sum A}$$

- hvor  $L_i$  = stoftilførslen til sø, i  
 $\sum L$  = den totale stoftilførsel til Himmelbjergsøerne  
 $A_i$  = overfladearealet af sø, i  
 $\sum A$  = overfladearealet af samtlige Himmelbjergsøer

Begyndelsesværdierne i den iterative beregning af ophobning i de enkelte søer er beregnet ved fordeling af den totale stofophobning på de enkelte søer efter størrelsen af søoverfladerne.

9. Ved opstilling af stofbalancer for Nørresø og Søndersø er der regnet med en "spildevandstilførsel" til begge søer, der er ca. 15 % af den samlede årlige udledning fra rensningsanlægget i Bruunshåb. Denne "spildevandstilførsel" har dels været forårsaget af regnbelastninger, dels af tilstopper i kloaksystemet, der får aflastningsbygværker til at træde i funktion. "Spildevandtilførslerne" til søerne er fordelt på følgende måde:

	SPILDEVANDSTILFØRSEL	
	ton N i 1974	ton P i 1974
Nørresø	4,9	1,4
Søndersø	11,6	3,2

10. Ved opstilling af stofbalancer for Hald sø har man været opmærksom på, at det hydrauliske opland på grund af terrænkarakteren er væsentlig større end det to-

pografiske opland. Dette illustreres blandt andet ved størrelsen af afstrømningsintensiteten, ( $25,7 \text{ l/sek} \cdot \text{km}^2$ ), der er det dobbelte af, hvad der findes i de øvrige dele af systemet (afstrømningsintensitet ved Tvilumbro:  $11,8 \text{ l/sek} \cdot \text{km}^2$ ). Beregning af tilførte mængder af fosfor foretages på basis af kendskabet til vandtransporten i Non mølleå og en skønnet koncentration i det indstrømmende vand (hovedsageligt grundvand) på  $0,07 \text{ mg P/l}$ . Den således beregnede fosfortilførsel på  $1,9 \text{ ton}$  svarer til en landbrugsbelastning (svarende til det topografiske opland) på  $0,5 \text{ kg P/ha} \cdot \text{år}$ .

Landbrugsbelastningen for kvælstof er skønnet til  $4 \text{ kg N/ha} \cdot \text{år}$ , idet den må forventes at ligge i intervallet  $1 \text{ kg N/ha} \cdot \text{år}$  (kildeområderne Salten å og Funder å) til  $7 \text{ kg N/ha} \cdot \text{år}$  (Granslev å). Den må endvidere være mindst  $2 \text{ kg N/ha} \cdot \text{år}$ , idet der beregningsmæssigt regnes med et topografisk opland, der er halvdelen af det hydrauliske opland.

Værdien  $4 \text{ kg N/ha} \cdot \text{år}$  er endvidere anvendt som landbrugsbelastning for Vedsø-oplandet, idet de to oplandsområder skønnes ens i relation til kvælstofafstrømning fra det topografiske opland.

11. Når der i tabel 6.2 benyttes angivelsen regnvands-overløb, menes skønnede bidrag ved nedbør fra såvel fælles- som separatsystemer.

#### GENERELT

Det skal endelig bemærkes, at de i flere tilfælde mange anførte cifre i transportangivelserne ikke er signifikante. Samtlige transportangivelser er behæftet med en vis usikkerhed, forsigtigt skønnet af størrelsen  $10-15 \%$ , stammende fra usikkerhed ved prøvetagning, analysering, vandføringsmåling og beregning. Kildestyrken for kvælstof og fosfor er endvidere i visse tilfælde skønnede værdier.

	Stationsnavn	Opland km <sup>2</sup>	Landbrugs- belastning		Landbrugs- bidrag		Dambred		Spildevand fra rensingsanlæg		Total		Bemærkninger
			N kg/ha	P kg/ha	N ton	P ton	N ton	P ton	N ton	P ton	N ton	P ton	
Tinnest - KØ oplund		74	28,0	0,92 <sup>*)</sup>	210,3	6,8	10,0	1,4	6,0	1,7	226,3	9,9	<sup>*)</sup> Den høje belastningsværdi skyldes det kraftige fald på strømsænen, hvorved en stor mængde partikulært materiale føres ned i søen.
Tørring	TØR		-	-	210,3	6,8	10,0	1,4	6,0	1,7	226,3	9,9	Målt tilført
Uldum tilfø	UUD	16	36,0	0,94	57,3	1,5	-	-	5,2	1,4	62,5	2,9	Målt = tilført
TØR - ÅST oplund		97	22,5	0,02	218,3	0,2	-	-	4,7	1,0	223,0	1,2	NB. Dyngreoler oversvømmes derfor kun 0,02 kg P/ha. Ved stoftransportmodel regnes med 0,2 kg P/ha.
Åstedbr.	ÅST	187	-	-	485,9	8,5	10,0	1,4	15,9	4,1	511,8	14,0	Målt = tilført.
Anttrup å	ANT	88			52,8 <sup>*)</sup>	1,6 <sup>*)</sup>	12,5 <sup>*)</sup>	2,1 <sup>*)</sup>	2,2	0,6	67,5	4,3	<sup>*)</sup> Delvis skøn p.a.a. Hallose m.m. Målt tilfø
ÅST - VOR oplund		109	10,0 <sup>***)</sup>	0,2 <sup>**)</sup>	109,0	2,2	-	-	16,2	5,1	125,2	7,3	<sup>***)</sup> Skønnet landbrugsbelast.
Voervadsbro	VOR	384			647,7	12,3	22,5	3,5	34,3	9,8	704,5	25,6	Tilført
					546,5	11,5	19,0	3,2	29,0	9,2	594,5	23,9	Målt
											110,0	1,7	Ophobet (15,6 % N, 6,6 % P af tilførsel).
VOR - Mossø		23	10,0	0,2	23	0,5	-	-	1,0 <sup>*)</sup>	0,3 <sup>*)</sup>	24,0	0,8	<sup>*)</sup> Vilhølt Papirfabrik.
Gudenå - tilførsel til Mossø		407			569,5	12,0	19,0	3,2	30,0	9,5	518,5	24,7	
Skanderborg - TÅN oplund		115,5 <sup>*)</sup>	10,0	0,2	115,5	2,3	0,5	0,1	50,0	14,0	166,0	16,4	<sup>*)</sup> Excl. søoverflade.
		8,5 <sup>**)</sup>	15,0 <sup>***)</sup>	~ 0,1 <sup>***)</sup>	12,8 <sup>***)</sup>	0,1 <sup>***)</sup>					12,8	0,1	<sup>**)</sup> Søoverflade. <sup>***)</sup> Nedbørsbidrag til søen.
TÅN å	TÅN	124	-	-	128,3	2,4	0,5	0,1	50,0	14,0	178,8	16,5	Tilført
					73,5	1,1	0,3	-	28,6	6,3	102,4	7,4	Målt
											76,4	9,1	Ophobet (42,7 % N, 55,2 % P af tilførsel).

Tabel 6.2 Stoftransportfordeling af kvælstof og fosfor gennem Gudenåsystemet i 1974 samt ophobning/fjernelse i søer og åstrækninger.

	Stu- nr	Opland km <sup>2</sup>	Landbrugs- belastning		Landbrugs- bidrag		Dyrbrug		Spildevand fra rensningsanlæg		Total		Bemærkninger
			N kg/ha	P kg/ha	N ton	P ton	N ton	P ton	N ton	P ton	N ton	P ton	
Til Mossø:													
Fra Gudenå		407			569,5	12,0	19,0	3,2	30,0	9,5	618,5	24,7	
Fra Tinningå	122	124			73,5	1,1	0,3	-	28,6	6,3	102,4	7,4	
Fra opland		76	10,0	0,2	76,0	1,5	11,0	1,1			87,0	2,6	
Fra nedløb		17 <sup>*)</sup>	15,0 <sup>**)</sup>	~ 0,1 <sup>***)</sup>	25,5 <sup>**)</sup>	0,1 <sup>***)</sup>					25,5	0,1	*) Støverflade. ***) Nedløbsbidrag til søen.
I alt til Mossø		624			744,5	14,7	30,3	4,3	58,6	15,8	833,4	34,8	
Ud af Mossø		624			623,2	13,1	25,4	3,8	49,0	14,1	697,6	31,0	
											135,8	3,8	Ophobet (16,3 % N, 10,9 % P af tilførsel).
Vraads Sønde - Salten bro	SAB	124	1,0 <sup>*)</sup>	0,15	12,4	1,9	33,8	4,5	4,7	1,6	50,9	8,0	Milt. *) Kildewalds sønde ***) Skøn.
Salten bro - Salten lang sø		30	5,0 <sup>**)</sup>	0,10 <sup>**)</sup>	15,0	0,3			2,8	0,9	17,8	1,2	
Salten lang sø					27,4	2,2	33,8	4,5	7,5	2,5	68,7	9,2	Tilført
					18,3	1,3	22,7	2,6	5,0	1,5	46,0	5,4	Afledt
											22,7	3,8	Ophobet (33,0 % N, 41,3 % P af tilførsel).
Salten lang sø - Ry bro		16	5,0 <sup>*)</sup>	0,10 <sup>*)</sup>	8,0	0,2					8,0	0,2	*) Skøn.
Ry bro	RYB	170			26,3	1,5	22,7	2,6	5,0	1,5	54,0	5,6	Milt = tilført
Ud af Mossø		624			623,2	13,1	25,4	3,8	49,0	14,1	697,6	31,0	
Ry bro	RYB	170			26,3	1,5	22,7	2,6	5,0	1,5	54,0	5,6	
opland Mossø Embørg bro		6	10,0	0,2	6,0	0,1			2,8	0,9	8,8	1,0	
Embørg bro	GUM	800			655,5	14,7	48,1	6,4	56,8	16,5	760,4	37,6	Milt = tilført
Embørg bro - Ry opland		24,3 <sup>*)</sup>	7,0 <sup>**)</sup>	0,15 <sup>**)</sup>	17,0	0,4					17,0	0,4	*) Excl. støverflade. **) Jvf. afsnit 5.2.
Nedløb		1,7 <sup>***)</sup>	15,0	~ 0,1	2,6	-					2,6	-	***) Støverflade.
Guden sø + Ry søllesø		826			675,1	15,1	48,1	6,4	56,8	16,5	780,0	38,0	Tilført
											25,7	1,1	Ophobet (3,3 % N, 2,9 % P af tilførsel)
					652,9	14,7	46,5	6,2	54,9	16,0	754,3	36,9	Afledt til Birkesø.

Tabel 6.2 Forts.

	Stations	Opland km <sup>2</sup>	Landbrugs- belastning		Landbrugs- bidrag		Dambrug		Spildevand fra rensningsanlæg		Total		Bemærkninger
			N kg/ha	P kg/ha	N ton	P ton	N ton	P ton	N ton	P ton	N ton	P ton	
Birk-Juul sø opland Nælløse		49,8	7,0	0,15	34,9	0,7			37,1	13,1	72,0	13,8	
		8,2	15,0	~ 0,1	12,3	0,1					12,3	0,1	
Hensølleved læge	DEN	56	7,2	0,13	40,5	0,7			1,1	0,3	41,6	1,0	Målt.
Birk sø - Juul sø		940			740,6	16,2	46,5	6,2	93,1	29,4	880,2	51,8	Tilført.
					654,0	14,5	41,1	5,5	82,2	26,2	102,9	5,6	Ophobet (11,7 % N, 10,8 % P af tilførsel).
										777,3	46,2	Afledt til Borre sø.	
Borresø opland Nælløse		23	7,0	0,15	16,1	0,4			18,5	6,6	34,6	7,0	
		2	15,0	~ 0,1	3,0	-					3,0	-	
Borresø		965			673,1	14,9	41,1	5,5	100,7	32,8	814,9	53,2	Tilført.
					648,6	14,4	39,6	5,3	97,0	31,7	29,7	1,8	Ophobet (3,6 % N, 3,4 % P af tilførsel).
										785,2	51,4	Afledt til Brassø.	
Brassø opland Nælløse		25,9	7,0	0,15	18,1	0,4					18,1	0,4	
		1,1	15,0	~ 0,1	1,6	-					1,6	-	
Brassø	DRA	992			668,3	14,8	39,6	5,3	97,0	31,7	804,9	51,8	Tilført.
					655,2	14,5	38,8	5,2	95,1	31,1	15,8	1,0	Ophobet (2,0 % N, 1,9 % P af tilførsel).
										789,1	50,8	Målt.	
Funder å FUN - Ørnsø	FUN	44	1,0	0,15	4,4	0,7	25,5	3,2	1,4	0,6	31,3	4,5	Målt. = tilført *) Kildevandsområde **) Der er taget højde for regnvandsoverløb til søen
		11	20,0	0,15	22,0	0,2	9,0	1,1	10,9	4,0	41,9	5,3	
Ørnsø		55			26,4	0,9	34,5	4,3	12,3	4,6	73,2	9,8	Tilført.
					15,0	0,5	19,6	2,5	7,0	2,6	41,6	5,6	Afledt. (Beregnet på basis af søkemanalyser).
										31,6	4,2	Ophobet. (43,2 % N, 42,9 % P af tilførsel).	
Ørnsø-Silke- borg længsø I opland		6	20,0	0,15	12,0	0,1	2,7	0,4	2,7	0,9	17,4	1,4	*) Der taget højde for regnvandsoverløb til søen

Tabel 6.2 Forts.

	Stationsnavn	Opland km <sup>2</sup>	Landbrugsbelastning		Landbrugsbidrag		Dårbrug		Spildevand fra rensningsanlæg		Total		Bemærkninger
			N kg/ha	P kg/ha	N ton	P ton	N ton	P ton	N ton	P ton	N ton	P ton	
Silkeborg længsø I		61			27,0	0,6	22,3	2,9	9,7	3,5	59,0	7,0	Tilført. Afløst. (Beregnet på basis af søkemianalyser). Ophobet. (23,7 % N, 12,9 % P af tilførsel).
					20,6	0,5	17,0	2,5	7,4	3,1	45,0	6,1	
Silkeborg længsø II opland		1,5	20,0 )	0,15	3,0	-					3,0	-	*) Regnvandsoverløb.
Silkeborg længsø II		62,5			23,6	0,5	17,0	2,5	7,4	3,1	48,0	6,1	Tilført. Afløst. (Beregnet på basis af søkemianalyser). Ophobet. (6,3 % N, 1,6 % P af tilførsel).
					22,1	0,5	15,9	2,5	7,0	3,0	45,0	6,0	
Silkeborg længsø III opland	BRA	992	20,0 )	0,15	55	0,4			3,2 **)	0,7 **)	58,2	1,1	*) Regnvandsoverløb. **) Silkeborg Papirfabrik. Søholt. Brassø.
					655,2	14,5	38,8	5,2	171,0	44,0	171,0	44,0	
Silkeborg længsø III	SIL	1082			723,3	15,4	54,7	7,7	276,3	78,8	1063,3	101,9	Tilført. Målt. Ophobet. (7,1 % N, 6,7 % P af tilførsel).
					680,3	14,4	50,8	7,2	256,7	73,5	987,8	95,1	
Linå	LIN	35	16,3	0,20	57	0,7	1,3	0,3	2,2	0,4	60,5	1,4	Målt.
Gjern å	GJE	115	11,7	0,20	134,6	2,3	0,7	0,2	42,1 )	5,2 )	177,4	7,7	Målt. *) Spildevand fra Hæmel: 26 % N, 69 % P-reduktion i Sølygård sø /10/.
SIL - TVI opland		57	15,0	0,20	85,5	1,1			8,3	1,5	93,8	2,6	
Tvilum bro	TVI	1289			957,4	18,5	52,8	7,7	309,3	80,6	1319,5	106,8	Tilført. Målt. Ophobet. (2,0 % N, 7,9 % P af tilførsel).
					938,3	17,0	51,8	7,1	303,1	74,3	1293,2	98,4	
Hinge sø		55	15,0	0,35 )	82,5	1,9	1,1	0,3	3,6	1,3	87,2	3,5	Tilført. *) Fra Tange å. Afløst. (Beregnet på basis af søkemianalyser). Ophobet. (25,3 % N, 28,6 % P af tilførsel).
					61,6	1,4	0,8	0,2	2,7	0,9	65,1	2,5	

Tabel 6.2 Forts.



	Stat- tion	Opland km <sup>2</sup>	Landbrugs- belastning		Landbrugs- bidrag		Dambrug		Spildevand fra rensningsanlæg		Total		Bemærkninger
			N kg/ha	P kg/ha	N ton	P ton	N ton	P ton	N ton	P ton	N ton	P ton	
Hinge sø - Alling sø opland		78	15	0,20	117	1,6	7,1	1,0	4,4	1,6	128,5	4,2	
Alling sø		133			178,6	3,0	7,9	1,2	7,1	2,5	193,6	6,7	Tilført.
					161,7	2,5	7,2	1,0	6,4	2,0	175,3	5,5	Afledt.
											18,3	1,2	Ophobet. (9,5 % N, 17,9 % P af tilførsel)
Alling sø - HIN opland		7	15	0,20	10,5	0,1			0,5	0,2	11,0	0,3	
Hinge sø	HIN	140			172,2	2,6	7,2	1,0	6,9	2,2	186,3	5,8	Tilført = målt.
TVI-Tange sø I opland		151,8	15	0,20	229,5 )	3,1 )			12,3	3,2	241,8	6,3	*) Inklusiv nedbør.
Tange sø I		1582			1340	22,7	59	8,1	322,3	79,7	1721,3	110,5	Tilført. (TVI+HIN+opland).
					1201,2	19,3	52,9	6,9	288,9	67,8	1543,0	94,0	Afledt. (Beregnet på basis af søkemianalyser).
											178,3	16,5	Ophobet. (10,4 % N, 14,9 % P af tilførsel).
Tange sø II opland		16	15	0,20	24 )	0,3 )			4,0	1,7	28,0	4,3	*) Inklusiv nedbør.
Tange sø II		1598			1225,2	19,6	52,9	6,9	292,9	69,5	1571,0	96,0	Tilført.
					1138,6	17,3	49,2	6,1	272,2	61,1	1460,0	84,5	Afledt. (Beregnet på basis af søkemianalyser).
											111,0	11,5	Ophobet. (7,1 % N, 12,0 % P af tilførsel).
Tange sø	TAN	109	20	0,35	218,0 )	3,8 )	0,7	0,2	31,2	7,9	249,9	11,9	Målt. *) Inklusiv nedbør.
Tange sø III	GAS	1707			1356,6	21,1	49,9	6,3	303,4	69,0	1709,9	96,4	Tilført.
					1348,8	20,9	49,6	6,2	301,6	68,3	1700,0	95,4	Afledt. (Målt).
											9,9	1,0	Ophobet. (0,6 % N, 1,0 % P af tilførsel).
GAS - ULS opland		80	7,5	0,20	60,0	1,6	6,1	0,9	31,5	16,5	97,6	19,0	

Tabel 6.2 Forts.

	Stationsnavn	Opland km <sup>2</sup>	Landbrugsbelastning		Landbrugsbidrag		Danbrug		Spildevand fra rensningsanlæg		Total		Bemærkninger
			N kg/ha	P kg/ha	N ton	P ton	N ton	P ton	N ton	P ton	N ton	P ton	
Tilstrup	ULS	1787			1408,8	22,5	55,7	7,1	333,1	84,8	1797,6	114,4	Tilført.
					1405,9	22,5	55,6	7,1	332,4	84,8	1793,9	114,4	Målt. Ophobet. (0,2 % N, 0 % P af tilførsel).
HLS - LAN opland (Balden tilførsel)	HND	51	12,5	0,15	63,8	0,7			2,8	0,6	66,6	1,3	
		292	20,0	0,15	584,0	4,4	22,5	2,9	155,0	34,1	761,5	41,4	Målt.
Lampås	LAN	2130			2053,7	27,6	78,1	10,0	490,2	119,5	2622,0	157,1	Tilført.
					2053,7	27,6	78,1	10,0	490,2	119,5	2622,0	157,1	Målt.
Nørresø opland Nælbjør		33,6	7,0	0,15	23,5	0,5			7,9	2,4	31,4	2,9	
		1,2	15,0	~ 0,1	1,8	-					1,8	-	
Nørresø					25,3	0,5			7,9	2,4	33,2	2,9	Tilført.
					16,8	0,4			4,9	2,1	21,7	2,5	Afledt. (Beregnet på basis af søkemanalyser).
										11,5	0,4	Ophobet. (34,6 % N, 13,8 % P af tilførsel).	
Søndersø opland Nælbjør		5,8	20,0	0,15	11,6	0,1			11,6	3,2	23,2	3,3	
		1,4	15,0	~ 0,1	2,1	-					2,1	0	
Søndersø	SØN	42			30,5	0,5			16,5	5,1	47,0	5,6	Tilført.
					28,6	0,4			15,4	4,8	44,0	5,2	Afledt. (Målt).
											3,0	0,4	Ophobet. ( 6,4 % N, 7,1 % P af tilførsel).
Bald sø opland Nælbjør		37,2	4,0	0,5	14,9	1,9	21,5	2,8	1,7	0,7	38,1	5,4	
		3,3	15,0	~ 0,1	5,0	0,1					5,0	0,1	
Bald sø		40,5			19,9	2,0	21,5	2,8	1,7	0,7	43,1	5,5	Tilført.
					17,6	2,0	18,9	2,8	1,5	0,7	38,0	5,5	Afledt. (Til Vedstø).
											5,1	0	Ophobet. (11,8 % N, 0 % P af tilførsel).

Tabel 6.2 Forts.

	Stationsnummer	Opland km <sup>2</sup>	Landbrugsbelastning		Landbrugsbidrag		Danbrug		Spildevand fra rensningsanlæg		Total		Bemærkninger
			N kg/ha	P kg/ha	N ton	P ton	N ton	P ton	N ton	P ton	N ton	P ton	
Vejle opland		31,0	4,0	0,15	12,4	0,5	19,3	2,6	2,6	1,2	34,3	4,3	
Hælsø		1,5	15,0	0,1	2,3	-					2,3	-	
Vejle		73,0			32,3	2,5	38,2	5,4	4,1	1,9	74,6	9,8	Tilført.
					20,9	2,0	24,7	4,2	2,6	1,5	48,2	7,7	Afledt. (Til Marø).
											26,4	2,1	Ophobet. (35,4 % N, 21,4 % P af tilførsel).
Randsholm opland		32,0	5,0	0,15	16,0	0,5	16,2	2,2	0,5	0,2	32,7	2,9	
Randsholm	RIN	105			36,9	2,5	40,9	6,4	3,1	1,7	80,9	10,6	Tilført = målt.
RIN/SØN-VEJ opland		142	7,0	0,15	99,4	2,1	3,6	0,5	98,2	30,9	201,2	33,5	
									0,3	-	0,3	-	Papirfabrik (250 arb.dg)
Vejrumbro	VEJ	289			164,9	5,0	44,5	6,9	117,0	37,4	326,9	49,3	Tilført. (Opland+SØN+RIN).
					120,8	3,6	32,6	4,9	85,7	26,8	239,1	35,3	Målt.
											87,3	14,0	Ophobet. (26,7 % N, 28,4 % P af tilførsel).
VEJ - ALU opland		75	16	0,15	120,0	1,1			10,2	3,8	130,2	4,9	
Rumbro	ALU	364			240,8	4,7	32,6	4,9	95,9	30,6	369,3	40,2	Tilført.
					236,3	4,4	32,0	4,6	94,1	28,8	362,4	37,8	Målt.
											6,9	2,4	Ophobet. (1,9 % N, 6,0 % P af tilførsel).
ALU-Guderå opland		30	6,0	0,20	18,0	0,6			4,1	1,5	22,1	2,1	
Larsgå	LAV	2130			2053,7	27,6	78,1	10,0	490,2	119,5	2622,0	157,1	
LAV - A 10 opland		56	6,0	0,20	33,6	1,1			7,5	2,9	41,1	4,0	
Motorvejsbroen A 10	A 10	2580			2341,6	33,7	110,1	14,6	595,9	152,7	3047,6	201,0	Tilført.
					2329,6	33,7	109,5	14,6	592,9	152,7	3032,0	201,0	Målt.
											15,6	0	Ophobet. (0,5 % N, 0 % P af tilførsel).

Tabel 6.2 Forts.

I tabel 6.3 er stoftransporten af organisk materiale gennem hele Gudenåsystemet, således som det er registreret 1974, fordelt på kilder. Ophobning i søer og åstrækninger er anført.

Transportberegningerne er gennemført for COD. Omsætning til organisk kulstof fås ved multiplikation af COD-værdierne med faktoren 2,5. Denne værdi er fremkommet som middelforholdet mellem TOC- og COD-analyser fra Gudenåundersøgelsen.

Ved udarbejdelsen er følgende generelle fremgangsmåde anvendt:

1) Kilder er som for kvælstof og fosfor opdelt i:

landbrugsbidrag  
dambrugsbidrag  
spildevandsbidrag.

2) Landbrugsbidrag er beregnet dels som differens mellem den målte totaltransport og summen af dambrugs- og spildevandsbidrag (eks.: Tinnet - Tørring, st. TØR), dels på baggrund af en evaluering af landbrugsbelastning i kg/ha · år og oplandsarealets størrelse (eks.: åstrækningen fra Åstedbro, st. ÅST, til Voervadsbro, st. VOR).

3) Dambrugsbidrag er anført på baggrund af BI<sub>5</sub>-værdier, angivet i Dambrugsrapporten / 2 /. Omsætningen fra BI<sub>5</sub> til COD sker ved anvendelse af standardforholdet  $COD = 0,7 \cdot BI_5$ , fundet ved Saltenåundersøgelsen, 1975. (Gudenåundersøgelsen, VKI).

	STATION	OPLAND KM <sup>2</sup>	LANDBRUGS- BIDRAG KG/HA	LANDBRUG TON	DAMBRUG TON	SP. VAND TON	TOTAL TON	OPHOBET TON	SEDIMENTERET TON
Tinnet-Tjørring	TØR	74	25	183	39	9	231		
Uldum lilleå	ULD	16	20	32		1	33		
TØR - AST		97	25	231		10	241		
Åstedbro	AST	187					505		
Mattrup å	MAT	88	15	132	52	3	127	60	
AST - VOR		109	15	164		14	178		
Voervadsbro	VOR	384					612	198	
VOR - Mossø		23	15	35		69	104		
Skanderborg - TÅN		124	25	310	2	112	424		
Tåning å	TÅN	124					261	163	350
Opland Mossø		93	15	140	38	24	202		
Mossø til		624					1179		
fra		624					1314	- 135	164
Vrads Sande - SAB	SAB	124	3	33	116	5	154		
SAB - Sal.langsø		30	10	30		26	56		
Salten langsø til		154					210		
fra		154					197	13	50
Sal.langsø - RYB		16	15	24			24		
Ry bro	RYB	170					221		
Ud af Mossø		624					1314		
Ry bro	RYB	170					221		
Opland		6	15	9		1	10		
Emborg bro	GUM	800					1545		
Bensmøllevad bro	BEN	56	10	58		1	59		
Opland Himmelbj.søerne		136	10	203		43	246		
Himmelbj.søerne til		992					1850		
fra	BRA	992					1942	- 92	140
Funder å - FUN	FUN	44	3	13	86	4	68	35	

Tabel 6.3 Stoftransportfordeling af organisk materiale (COD) gennem Gudenåsystemet i 1974 samt ophobning og sedimentering i søer og åstrækninger. Ved multiplikation af de anførte COD-værdier med 2,5 fås TOC-værdier.

	STATION	OPLAND KM <sup>2</sup>	LANDBRUGS- BIDRAG KG/HA	LANDBRUG TON	DAMBRUG TON	SP.VAND TON	TOTAL TON	ØPHOBET TON	SEDIMENTERET TON
FUN - Ørn sø		11	10	11	30	29	70		
Opl. Ørn sø - Silkb. lang sø		35	50	175	9	605	789		
Ørn sø - Silkb. lang sø til		1082					2869		
fra	SIL	1082					2696	173	239
Linå	LIN	35	13	44	7	2	53		
Gjern å	GJE	115	15	170	4	25	199		
Opland SIL - TVI		59	15	86		7	93		
Tvilumbro til	TVI	1289					3041		
fra		1289					2896	145	
Hinge å - HIN	HIN	140	20	280	31	28	337	2	33
Tange å	TAN	109	24	259	3	26	288		
Opland TVI - GAS		169	15	254		13	267		
Tange sø til		1707					3788		
fra	GAS	1707					3414	374	562
Opland GAS - ULS		80	15	120	23	21	164		
Ulstrup til	ULS	1787					3578		
fra		1787					3548	30	
Hadsten lilleå	HAD	292	24	701	76	279	673	383	
Opland ULS - LAN		51	15	77		13	90		
Langå til	LAN	2130					4311		
fra		2130					4637	- 326	
Opland - RIN	RIN	105	5	53	197	3	216	37	125
Opland - SØN	SØN	42	15	63		50	110	3	62
Opland RIN/SØN - VEJ		142	15	213	13	56	282		
Vejrumbro til	VEJ	289					608		
fra		289					586	22	
Opland VEJ - ALU		75	33	247		27	274		
Ålumbro til	ALU	364					860		
fra		364					860		

Tabel 6.3 Forts.

- 4) Spildevandsbidrag er anført på baggrund af  $BI_5$ -værdier, angivet i Spildevandsrapporten /1/ og Papirfabriksrapporten /9/, suppleret med teoretiske  $BI_5$ -belastningsværdier fra bysamfund i området, hvor udledningmængderne ikke ved Gudenåundersøgelsen er undersøgt direkte. Omsætning fra  $BI_5$  til COD sker ved anvendelse af det COD/ $BI_5$ -forhold, der er målt ved de undersøgte rensningsanlæg.

Ved ikke-undersøgte rensningsanlæg anvendes følgende omsætninger, evalueret på basis af spildevandsundersøgelserne:

Urenset spildevand:  $COD = 0,7 \cdot BI_5$

Mekanisk rensset spildevand:  $COD = 0,6 \cdot BI_5$

Mekanisk-biologisk rensset spv.:  $COD = 1,5 \cdot BI_5$

- 5) På basis af de beregnede tilførsler og målte mængder beregnes en ophobet mængde COD i det forudgående å-/søafsnit. Hvor målestationerne er beliggende ved søafløb, må der imidlertid korrigeres for primærproduktionen i den/de pågældende søer for at beregne den sedimenterede mængde. Korrektionen er her gennemført således:

#### Grundlag

- a) Den mængde organisk stof (COD), der tilføres en sø, antages at passere søen uomdannet.
- b) Primærproduktionen i søen antages at finde sted på basis af uorganisk kulstof, tilført dels via søtilløbet, dels eventuelt fra luften.
- c) Respiration og mineralisering i søen antages at være af størrelsen 80 % /11/.

### Beregning

For  $s\phi_i$  findes således følgende forhold:

$$C_{ind,i} + 0,20 \cdot BPP_i = C_{ud,i} + Sed_i$$

hvor  $C_{ind,i}$  er organisk kulstoftilførsel til  $s\phi_i$

$BPP_i$  er bruttoprimærproduktion i  $s\phi_i$

$C_{ud,i}$  er organisk kulstofafledning fra  $s\phi_i$

$Sed_i$  er sedimenteret organisk kulstof i  $s\phi_i$ ,  
( $TOC = 2,5 \cdot COD$ ).

For det nedre Gudenåtilløb skal følgende specielle forhold fremhæves:

- 6) COD-angivelsen for st. GÅS er 3414 ton og ikke, som i tabel 6.1 angivet, 3599 ton. Dette skyldes, at årstransporten ved st. GÅS er beregnet på basis af færre målinger end ved de øvrige stationer. Årstransporten, angivet i tabel 6.3, er derfor korrigeret ved at supplere manglende målepunkter for st. GÅS ved at reducere tilsvarende målepunkter fra den efterfølgende st. ULS med det gennemsnitlige oplandsbidrag fra den mellem-liggende åstrækning.
- 7) Den målte transport af COD ved Hadsten Lilleå, st. HAD, er for lav.

Generelt for samtlige stationer, angivet i tabel 6.3, gælder det, at der ikke ved stoftransportopstillingen for COD (organisk materiale) er taget hensyn til nedbrydningen af organisk materiale i åstrækningerne. Denne er i Gudenåsystemet skønnet til  $1/4$  10 % af de på strækningerne transporterede mængder af organisk stof. Hensyn-tagen til denne reduktion vil således bevirke, at de



anførte emissioner fra landbrug i tabel 6.3 skal forøges med den aktuelle størrelse for nedbrydningen på de forskellige vandløbsstrækninger.

### 6.3 STOFTRANSPORTREDUKTION I Å/SØSTRÆKNINGER

I 1974 blev der til Gudenåsystemet totalt tilført ca. 4210 ton kvælstof og ca. 310 ton fosfor. Af disse tilførsler nåede kun ca. 3000 ton kvælstof og ca. 200 ton fosfor frem til Randers fjord. Der er således i systemet sket en stoftransportreduktion af størrelsen ca. 28 % for kvælstof og ca. 35 % for fosfor. Denne reduktion har fundet sted i systemets åer og søer. Disse har tilsammen en reduktionseffekt af samme størrelsesorden som et mekanisk-biologisk rensningsanlæg (30 % reduktion af kvælstof og fosfor).

Reduktionen i stoftransporten foregår hovedsagelig i systemets søer, hvor tilført kvælstof og fosfor indbygges i algebiomasse og sedimenteres med døde alger. En del af kvælstofreduktionen kan desuden foregå via denitrifikation.

I åstrækninger foregår reduktionen ved adsorption til partikulært materiale og sedimentation med dette. Der vil formentlig også her i et vist omfang kunne foregå kvælstofreduktion via denitrifikation. Grødens indflydelse på størrelsen af kvælstof og fosforreduktion i vandmassen kendes ikke.

Tabel 6.4 viser en oversigt over stoftransportreduktioner i Gudenåsystemets søer og åstrækninger for året 1974.

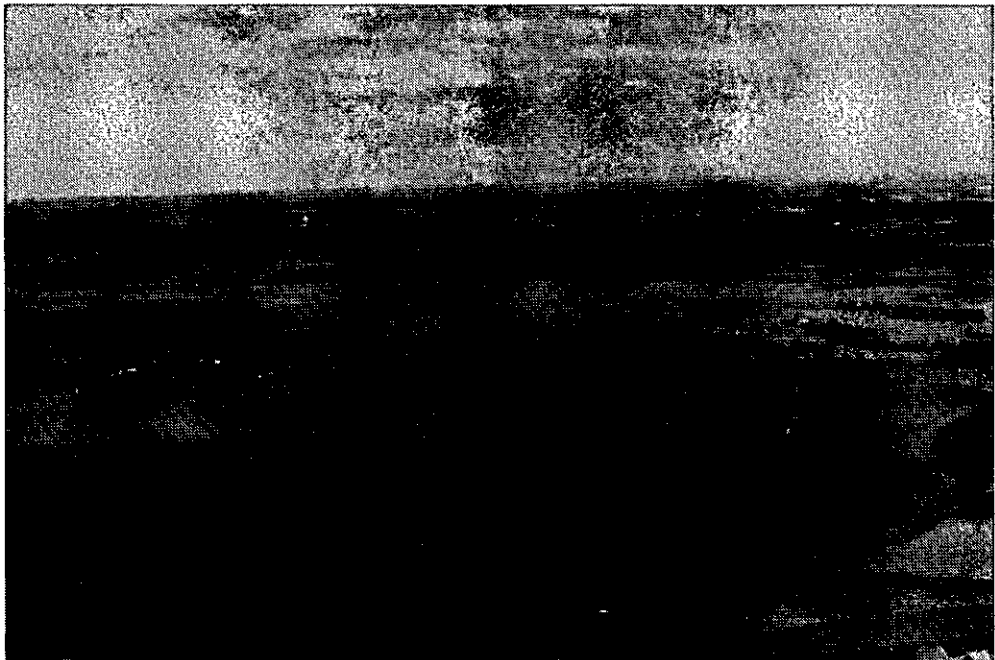
STRÆKNING	Ophobning/ fjernelse		Reduktion i % af tilførsel	
	N ton	P ton	N %	P %
TØR - AST	0	0	0	0
ÅST - VOR (Vestbirksøerne)	110	1,7	15,6	6,6
Skanderborgsøer	76	9,1	42,7	55,2
Mossø	136	3,8	16,3	10,9
Salten langsø	23	3,8	33,0	41,3
Himmelbjergsøer	175	9,5		
Gudensø	26	1,1	3,3	2,9
Juelsø	103	5,6	11,7	10,8
Borresø	30	1,8	3,6	3,4
Brassø	16	1,0	2,0	1,9
Silkeborg langsø	124	12,1		
Ørnsø	32	4,2	43,2	42,9
Bassin I	14	0,9	23,7	12,9
Bassin II	3	0,1	6,3	1,6
Bassin III	75	6,8	7,1	6,7
SIL - TVI (incl. Sminge sø)	26	8,4	2,0	7,9
Søbygård sø	13	7,8	26,0	69,0
Hinge sø	22	1,0	25,3	28,6
Alling sø	18	1,2	9,5	17,9
"TVI-Tangesø"	299	29,0		
Bassin I	178	16,5	10,4	14,9
Bassin II	111	11,5	7,1	12,0
Bassin III	10	1,0	0,6	1,0

Tabel 6.4 Stoftransportreduktioner i søer og åstrækninger for året 1974 - fortsættes →

forts.

STRÆKNING	Ophobning/ fjernelse		Reduktion i % af tilførsel	
	N ton	P ton	N %	P %
GÅS - ULS	3	0	0,2	0
ULS - LAN	0	0	0	0
LAN - A 10	(15)	0	(0,5)	0
Nørre sø	11	0,4	34,6	13,8
Søndersø	3	0,4	16,4	7,1
Hald sø	5	0	11,8	0
Vedsø	26	2,1	35,4	21,4
RIN/SØN - VEJ	87	14,0	26,7	28,4
VEJ - ÅLU	7	2,4	1,9	6,0

Tabel 6.4 fortsat      Stoftransportreduktioner i søer og å-  
strækninger for året 1974.



Gudensø.

## 6.4 STOFOMSÆTNINGER I GUDENÅSYSTEMETS SØER

I afsnit 6.2 er de ophobede/fjernede mængder af fosfor og kvælstof og de sedimenterede mængder af organisk materiale i Gudenåsystemets søer beregnet. Af de således beregnede mængder er kun fosformængderne udtryk for en nettoophobning i søerne. Den beregnede kvælstoffjernelse er summen af kvælstofophobning og denitrifikation, og den beregnede sedimentation af organisk materiale er bruttosedimentation. I dette afsnit vurderes størrelsen af denitrifikation og sedimentrespirationen, og sedimenttilvæksten skønnes.

### 6.4.1 DENITRIFIKATION

Størrelsen af denitrifikationen i systemets søer kan vurderes ud fra følgende beregningsgrundlag:

- 1) Stoftransporten og sedimentkoncentrationen af kvælstof og fosfor.
- 2) Aerobe sedimentudvekslingsforsøg i laboratorieskala, kombineret med "aktivt" søareal.
- 3) Teoretisk N/P-forhold i alger, kombineret med N/P-forhold i sediment og fosforophobning i søerne.

De aktuelle beregninger er følgende:

- 1) Kvælstofophobningen i en sø er lig med fosforophobningen multipliceret med forholdet mellem kvælstof- og fosforkoncen-

trationerne i sedimentets overflade. Differencen mellem kvælstoffjernelsen, beregnet på basis af stoftransporterne, og den beregnede kvælstofophobning i søen er lig med kvælstof omsat ved denitrifikation:

$$\text{ton N denitr.} = \text{ton N fjernet} - (\text{konc. N/P sediment}) \cdot \text{ton P ophobet.}$$

- 2) Ved sedimentudvekslingsforsøg i laboratoriet /12/ er der for elleve søer målt denitrifikationshastigheder (mængde  $\cdot$  tid<sup>-1</sup>  $\cdot$  areal<sup>-1</sup>). Multiplikation af disse værdier for søerne med de "aktive" søarealer giver en værdi for denitrifikationens størrelse i disse søer.
- 3) Hovedparten af det materiale, der sedimenterer i søerne, er alger. I sedimentet bør der således genfindes normalforholdet mellem kvælstof og fosfor i alger: N/P = 7. Er N/P-forholdet i sedimentet mindre end 7, må der være forsvundet kvælstof fra sedimentet. Størrelsen af kvælstof angivet ved denitrifikation kan således skønnes ved følgende beregning:

$$\text{ton N denitr.} = (7 - \text{konc. N/P sediment}) \cdot \text{ton P ophobet.}$$

Beregningerne er behæftet med en del usikkerhed:

- 1) Kildestyrken for kvælstof og fosfor er i visse tilfælde skønnede værdier.

Desuden er stoftransportberegningerne behæftet med en vis usikkerhed stammende fra

prøveudtagning, analysering og beregning.  
Det samme gælder for sedimentanalyserne.

- 2) Aerobe forsøg er benyttet til beregningen. I nogle af søerne er der imidlertid anaerobe forhold i de dybere dele af søerne af kortere eller længere varighed. Forsøgene er laboratorieforsøg.

Ved nogle af forsøgene er der kun få punkter til fastlæggelse af denitrifikationshastigheden.

- 3) Usikkerheden hænger dels sammen med usikkerheden på P-ophobningens størrelse, dels med sandsynligheden for at have udtaget repræsentative sedimentprøver til analyse.

Tabel 6.5 viser beregninger af denitrifikationen ud fra de tre omtalte beregningsgrundlag.

Der er rimelig god overensstemmelse mellem værdier, beregnet på basis af stoftransport og udvekslingsforsøg. Ved udvekslingsforsøgsberegningerne findes for Mossø denitrificerede mængder varierende mellem 80 og 300 ton N/år, afhængigt af, om kun arealet af det dyndede sediment eller hele søens areal betragtes som "aktivt" søareal. For Brassø varierer mængderne tilsvarende mellem 15 og 32 ton N/år, afhængigt af, om kun de dybe dele af sedimentet ved Gudenålbet eller hele søarealet betragtes som "aktivt" søareal.

Med de omtalte usikkerheder ved beregningerne i mente må det bemærkes, at der kun er en tydelig uoverensstemmelse mellem de beregnede værdier for Hald sø og Søndersø.

Værdier, beregnet på basis af stoftransport og N/P-forhold i sedimentet, viser ligeledes gennemgående rimelig god overensstemmelse. Der er her en tydelig uoverensstemmelse for Mossø. Beregningsmetode 3 kan ikke anvendes på Hald sø, hvor der ifølge stoftransportberegningerne i 1974 ikke forekom nogen ophobning af fosfor. Ligeledes kan den ikke anvendes på Nørresø og Søndersø, hvor N/P-forholdet i sedimentet er større end 7.



Viborg ved Nørresø.

Sø	Koncentration i sedimentoverflade		Ophobning/fjernelse i 1974		Denitrifikation ton N i 1974		
	g N/kg TS	g P/kg TS	ton N	ton P	1. Stoftransport	2. Udvekslingsforsøg	3. N/P-forhold i sediment
Skanderborg søer	12,0	3,1	76	9,1	41	50	28
Mossø	12,9	1,9	136	3,8	110	300/80	0,8
Salten Langsø	12,4	4,7	23	3,8	13		17
Gudensø + Ry Møllesø			26	1,1			
Birk sø + Juul sø			103	5,6			
Borre sø			30	1,8			
Brassø	20,0	3,6	16	1,0	10	32/15	1,4
Ørnsø	11,4	6,0	32	4,2	24		21
Silkeborg Langsø I	11,7	4,6	14	0,9	12	7	4
II	13,3	4,2	3	0,1	3	7	0
III	17,0	2,8	76	6,8	34	11	6
Hinge sø	10,3	2,2	22	1,0	17		2
Alling sø	13,4	2,9	18	1,2	13		3
Tange sø I	15,1	5,7	178	16,5	135	86	72
II	16,8	7,3	111	11,5	85		54
III			10	1,0			
Hald sø	10,4	5,5	5	0	5	67	5 x P ↓
Vedsø	15,4	3,7	24	2,1	18		6
Nørresø	11,6	1,6	12	0,4	9		
Søndersø	21,4	2,9	3	0,4	~ 0	90	

Tabel 6.5 Beregning af denitrifikation i Gudenåsystemets søer.



## 6.4.2 SEDIMENTRESPIRATION

Ligesom denitrifikationens størrelse kan vurderes ved hjælp af beregnede kvælstof- og fosforfjernelser og N/P-forhold i sedimentoverfladerne, kan sedimentrespirationens størrelse vurderes ved hjælp af beregnede bruttosedimentationer af organisk kulstof og fosfor og C/P-forhold i sedimentoverfladerne:

$$\text{ton C respir.} = \text{ton C sedim.} - \text{konc. C/P} \\ \text{sediment} \cdot \text{ton P ophobet.}$$

Tabel 6.6 viser en beregning af sedimentrespiration i søerne i Gudenåsystemet.

Koncentrationerne af organisk kulstof i sedimenterne er beregnet på basis af glødetabsmålinger. Glødetabet er sat lig med sedimentets kemiske iltforbrug på baggrund af en evaluering af forholdet mellem COD og glødetab i forskellige sedimenttyper, og dette er omsat til organisk kulstof ved multiplikation med 0,375 ( $12 \text{ g C} + 32 \text{ g O}_2 \Rightarrow 44 \text{ g CO}_2$ ).

$$\text{Org. C} = 0,375 \cdot \text{COD} \approx 0,375 \cdot \text{glødetab.}$$

Den beregnede koncentration af organisk kulstof i sedimentet er således behæftet med en del usikkerhed.

Bruttosedimentationen af organisk kulstof er beregnet ved multiplikation af COD-værdierne for bruttosedimentation i tabel 6.3 med 2,5 ( $\text{TOC} = 2,5 \cdot \text{COD}$ ).

De beregnede årsværdier for sedimentrespiration er for de enkelte søer omsat til specifikt iltforbrug:

$$\text{Spec. iltforbrug (g O}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dgn}^{-1}) = \frac{\text{g C resp.}}{365 \cdot \text{søareal (m}^2)} \cdot \frac{32}{12}$$

Ved beregningerne er søarealet sat lig med søoverfladen. De fremkomne værdier for specifikt iltforbrug er således minimalværdier, idet det "aktive" søareal for nogle af søerne (f.eks. Mossø) er mindre end det totale søareal.

Værdierne for specifikt iltforbrug varierer mellem 0,03 og 2,8  $\text{g O}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dgn}^{-1}$ . Middelværdien er 0,62  $\text{g O}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dgn}^{-1}$ .

Til sammenligning kan anføres, at målinger på 6 svenske søer /13/ i gennemsnit gav et specifikt iltforbrug på 1,4  $\text{g O}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dgn}^{-1}$  og maksimalt viste 3  $\text{g O}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dgn}^{-1}$ .

Målinger på Esrum sø /14/ har vist, at det specifikke iltforbrug varierede med årstiden. Værdierne lå i intervallet 0,1 - 1,4  $\text{g O}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dgn}^{-1}$ .

De værdier for specifikt iltforbrug for Gudenåsystemets søsedimenter, der er beregnet i tabel 6.6, er således i udmærket overensstemmelse med værdier for andre søsedimenter. Denne overensstemmelse bekræfter, at de forudsætninger, der er anvendt ved beregning af bruttosedimentation (tabel 6.3) og koncentration af organisk kulstof i sedimenterne, er rimelige.

Sø	Koncentration i sedimentoverflade		Ophobning			Sedimentrespiration	
	g C/kg TS	g P/kg TS	ton P i 1974	ton C i 1974		ton C	g O <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> · dgn
				Stoftransp. +P.prod.	C/P-forhold i sediment		
Skanderborg søer	75	3,1	9,1	875	220	655	0,56
Mossø	83	1,9	3,8	410	166	244	0,11
Salten Langsø	93	4,7	3,8	125	75	50	0,12
Gudensø + Ry Møllesø			1,1	41			
Birk sø + Juul sø			5,6	206			
Borre sø			1,8	66			
Brassø	101	3,6	1,0	37	28	9	0,06
Ørnsø	96	6,0	4,2	209	67	142	2,5
Silkeborg Langsø I	83	4,6	0,9	45	16	29	0,46
II	83	4,2	0,1	5	2	3	0,03
III	107	2,8	6,8	338	260	78	0,61
Hinge sø	75	2,2	1,0	38	34	4	0,03
Alling sø	105	2,9	1,2	45	43	2	0,04
Tange sø I	109	5,7	16,5	799	316	483	2,8
II	115	7,3	12,5	606	197	409	0,73
Hald sø	81	5,5	0	} 313			
Vedsø	94	3,7	2,1		53		
Nørresø	98	1,6	0,4	78	25	53	0,32
Søndersø	148	2,9	0,4	78	20	58	0,29

Tabel 6.6 Beregning af sedimentrespiration i Gudena-systemets søer.

### 6.4.3 SEDIMENTTILVÆKST

På basis af fosforophobningerne i Gudenåsystemets søer kan sedimenttilvæksten skønnes ved beregning. Beregningen foretages ved på basis af søareal, massefylde af sediment, tørstof i sedimentoverfladen og fosforkoncentration i tørstoffet at udregne fosformængden pr. cm sedimentoverflade. Sammenholdt med den ophobede fosformængde i søen findes således sedimenttilvæksten:

$$\text{Sed.tilvækst (mm} \cdot \text{år}^{-1}\text{)} = \frac{\text{kg P ophobet}}{\text{søareal (m}^2\text{)} \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \rho \text{ (t/m}^3\text{)} \cdot \text{TS (kg/t)} \cdot \text{P.konc. (kg/t TS)}}$$

For samtlige søsedimenter er anvendt en massefylde ( $\rho$ ) på  $1,08 \text{ g/cm}^3$ , /12/. Dette er middelværdien for samtlige undersøgte overfladesedimenter.

De beregnede værdier for sedimenttilvækst er gennemsnitsværdier for hele søarealet. For de dybe søer (f.eks. Mossø), hvor det "aktive" sedimentareal er mindre end søarealet, vil sedimenttilvæksten således være større end de beregnede værdier.

Der er i Tange sø, bassin I, gennemført en orienterende undersøgelse af sedimentudbredelsen. Det er konstateret, at kulturlaget - opstået efter opstemningen af søen 1920 - har en udbredelse over ca. 80 % af søarealet og en middeltykkelse på 20 cm. Det skønnes herudfra, at sedimentforøgelsen gradvist er tiltaget og i dag udgør 1,5 - 2 cm pr. år. Den beregnede værdi i tabel 6.7 på 2,8 cm/år er beregnet under forudsætning af, at fosforophobningen mellem Tvilumbro og Ansbro foregår i Tange sø, bassin I. Dette er således ikke tilfældet, jf. ophobningen af fosfor på strækningen SIL - TVI.

Tabel 6.7 viser de beregnede værdier for sedimenttilvækst i Gudenåsystemets søer i 1974.

Sø	Søareal $10^6 \text{ m}^2$	Koncentration i sedimentoverflade		P-mængde i sed.o- verflade t P/cm	P-ophob- ning i søen i 1974 t P	Sediment- tilvækst mm/år
		% tørstof	g P/kg TS			
Skander- borg søer	8,6	8,2	3,1	23,3	9,1	4 *
Mossø	16,88	7,4	1,9	25,6	3,8	1 *
Salten Langsø	3,0	7,4	4,9	11,8	3,8	3
Brassø	1,14	5,7	3,6	2,5	1,0	4
Ørnsø	0,42	8,2	6,0	2,3	4,2	18
Silkeborg Langsø I	0,46	9,8	4,6	2,3	0,9	4
II	0,85	8,2	4,2	3,1	0,1	0,5
III	0,93	7,3	2,8	2,1	6,8	32
Hinge sø	1,08	14,0	2,2	3,6	1,0	3
Alling sø	0,4	9,2	2,9	1,2	1,2	10
Tange sø I	1,24	7,8	5,7	5,9	16,5	28
II	4,51	7,1	7,3	23,0	12,5	5
Hald sø	3,33	5,5	5,5	10,9	0	~ 0
Vedsø	1,47	6,7	3,7	3,9	2,1	5
Nørresø	1,22	8,7	1,6	1,8	0,4	2
Søndersø	1,44	4,7	2,9	2,2	0,4	2

Tabel 6.7 Beregning af sedimenttilvækst i Gudenå-systemets søer i 1974.

\*) Hele søens areal benyttet. Sedimentationen foregår kun i de dybere dele af søerne.

## 7. SAMMENFATNING

I perioden november 1973 til marts 1975 er der ved 26 hovedstationer og 4 supplerende målestationer målt stoftransport i Gudenåsystemet. På basis af disse målinger er der udarbejdet en oversigt over stoftransporten i Gudenåsystemet for hele året 1974.

Transporten af kvælstof foregår hovedsagelig 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. Da den overvejende del af fosfortransporten skyldes fosforudledninger med spildevand, er variationen i fosfortransport mellem vinterperioden og den øvrige del af året væsentlig mindre markant, end tilfældet er for kvælstoftransporten.

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

Normalkoncentrationen af fosfor i Gudenåsystemet ville - hvis der ikke forekom spildevandsudledninger - være af størrelsen 0,06 mg P/l, svarende til et diffust bidrag af fosfor af størrelsen 0,20 kg/ha · år.

De diffuse bidrag (landbrugsbidrag) af kvælstof og fosfor varierer i de forskellige dele af systemet, jvf. nedenstående oversigt, tabel 7.1.

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
Mossøområdet	10,0	0,20
Himmelbjergsø-området og lignende om- råder med blandet skovbevoksning og landbrug	7,0	0,15
Kildevældsområder (Salten å, Funder å)	1,0	0,15
Intensive landbrugsområder (Hinge å, Gjern å, Tange å)	15,0-20,0	0,35
Gudenåens nedre løb	6,0-20,0	0,15-0,20
Voelbæk (Middel af 2-års målinger)	14	0,17
Gjelbæk (Middel af 2-års målinger)	25	0,43

Tabel 7.1 Diffuse bidrag (landbrugsbidrag) af N og P  
i forskellige dele af Gudenåsystemet.

Stoftransporten af kvælstof og fosfor for år 1974 i Gudenåens hovedløb er angivet i tabel 7.2. I denne oversigt er foruden totaltransporten ved hovedstationerne i hovedløbet angivet fordelingen af totaltransporten på følgende kilder:

diffuse (landbrug)

dambrug

spildevand.

Endvidere er ophobning henholdsvis fjernelse af fosfor og kvælstof i systemet angivet dels som absolutværdier for systemet mellem to på hinanden følgende hovedstatio-

	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 7.2 Fordeling af stoftransport og fjernelse/  
ophobning af kvælstof og fosfor i Gudenå-  
systemet for året 1974. Usikkerheden på  
angivelserne er 10 - 15 %, jf. p. 56.

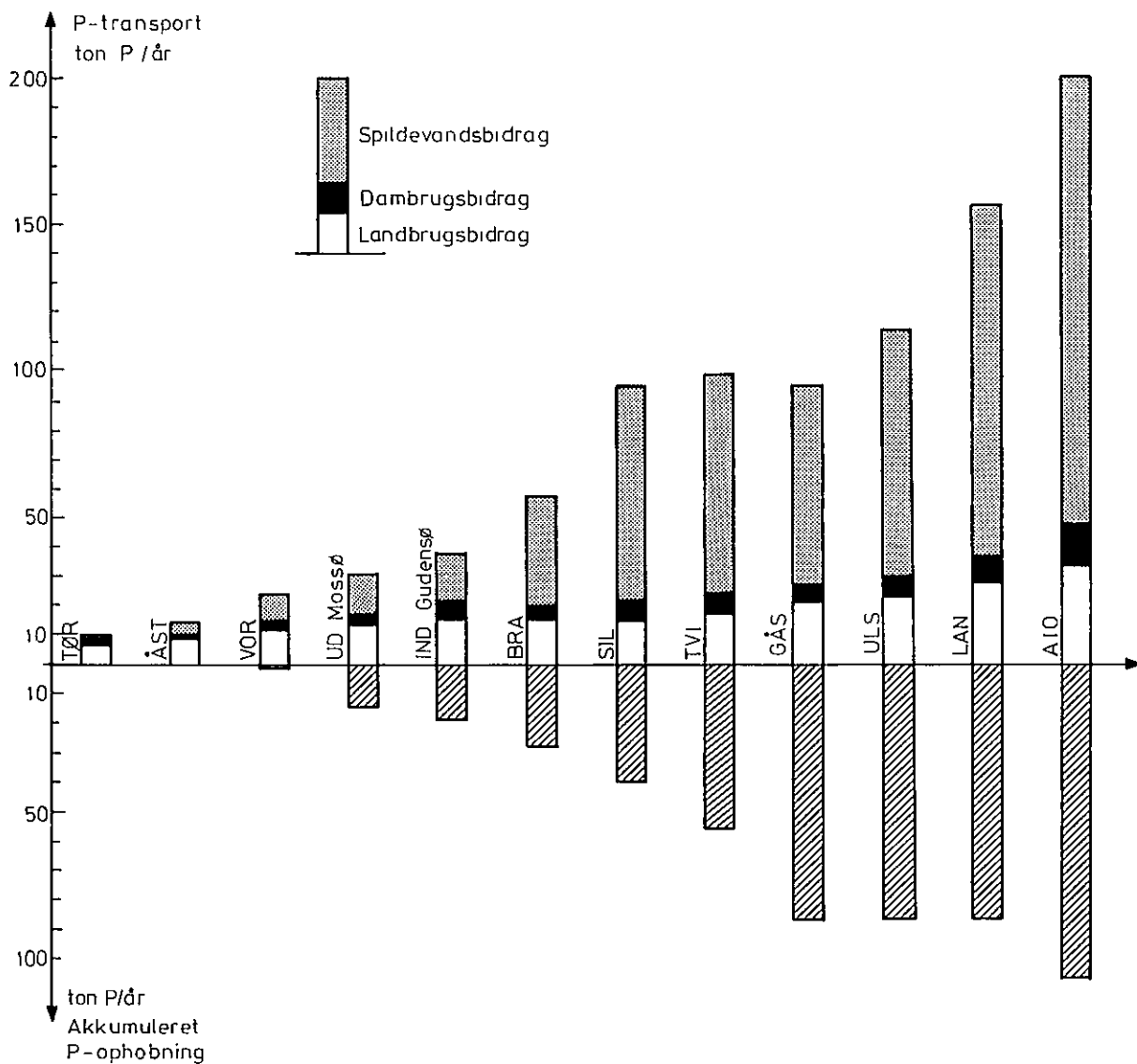


ner i Gudenåløbet, dels som de totalt ophobede henholdsvis fjernede mængder i systemet frem til de enkelte stationer i hovedløbet. Figur 7.1 og figur 7.2 viser i diagramform transport og ophobning henholdsvis fjernelse af fosfor og kvælstof i Gudenåsystemet for 1974. Ved udarbejdelsen af diagrammerne er værdierne i tabel 7.2 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).

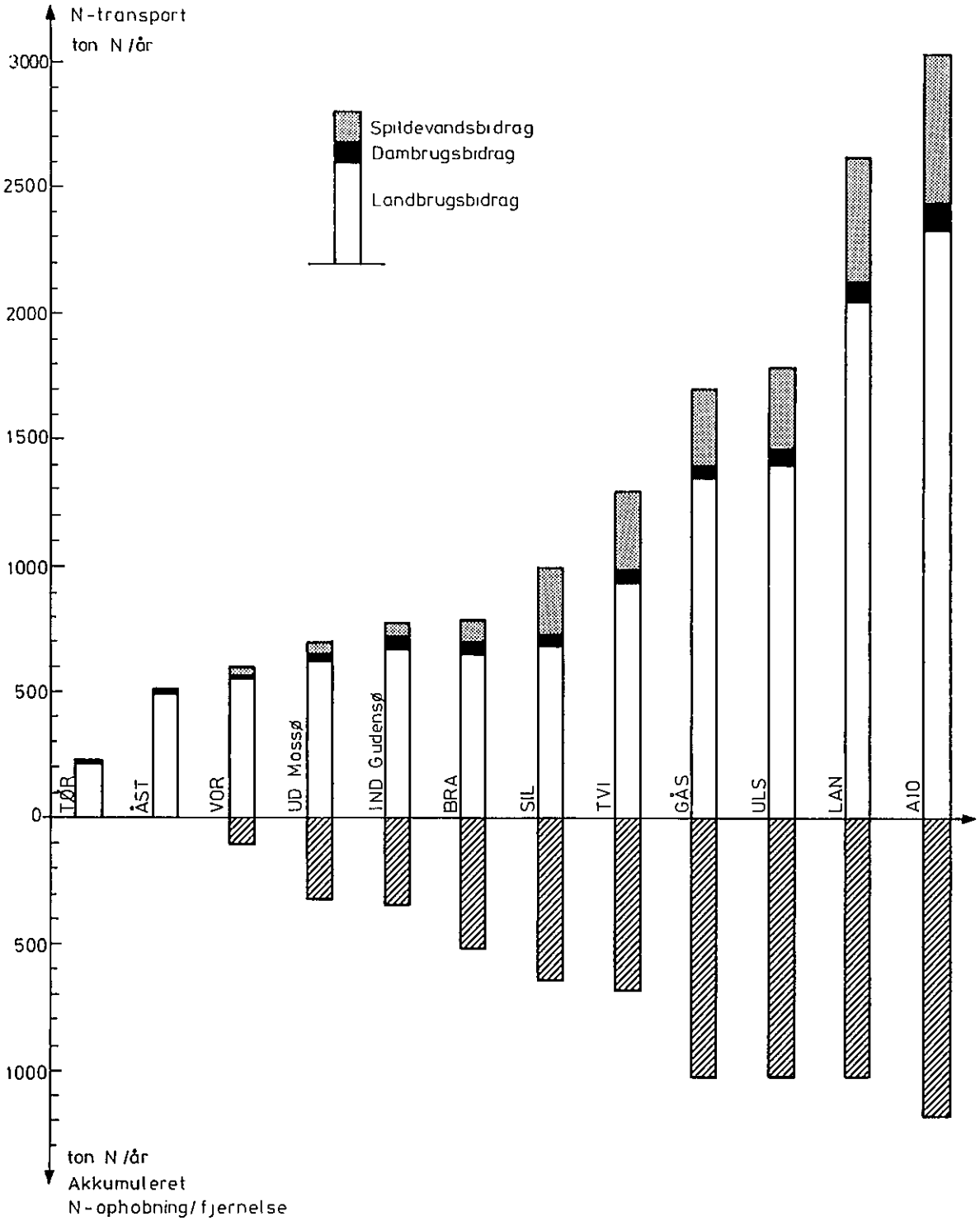
Stoftransporten af organisk materiale for år 1974 i Gudenåens hovedløb er angivet i tabel 7.3. I denne oversigt er foruden totaltransporten ved hovedstationerne i hovedløbet angivet bruttosedimentation dels som absolutværdier for systemet mellem to på hinanden følgende hovedstationer i Gudenåløbet, dels som den akkumulerede bruttosedimentation i systemet frem til de enkelte stationer i hovedløbet. Figur 7.3 viser i diagramform transport og akkumuleret bruttosedimentation af organisk materiale i Gudenåsystemet for 1974, som anført i tabel 7.3.

Værdierne, anført i tabel 7.2, for ophobning/fjernelse af kvælstof er for søstrækningerne af Gudenåsystemet summen af nettoophobningen i sedimentet og den denitrificerede mængde, ligesom værdierne, anført i tabel 7.3, for bruttosedimentation af organisk materiale er summen af nettosedimentationen og den sedimentrespirerede mængde. I tabel 7.4 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



Figur 7.1 Fordeling af stoftransport og ophobning af fosfor i Gudenåsystemet for år 1974.

(De under akse (den vandrette) liggende søjler, er den i systemet akkumulerede mængde).



Figur 7.2 Fordeling af stoftransport og fjernelse/ophobning af kvælstof i Gudenåsystemet for år 1974.

(De under akse (den vandrette) liggende søjler, er den i systemet akkumulerede mængde).

kulstof, der er fjernet ved denitrifikation (N) og sedimentrespiration (C) anført, ligesom sedimenttilvæksten i 1974 er anført. Endelig er til supplerende belysning af disse værdier anført:

Tilførsel i 1974 af N og P til søerne.

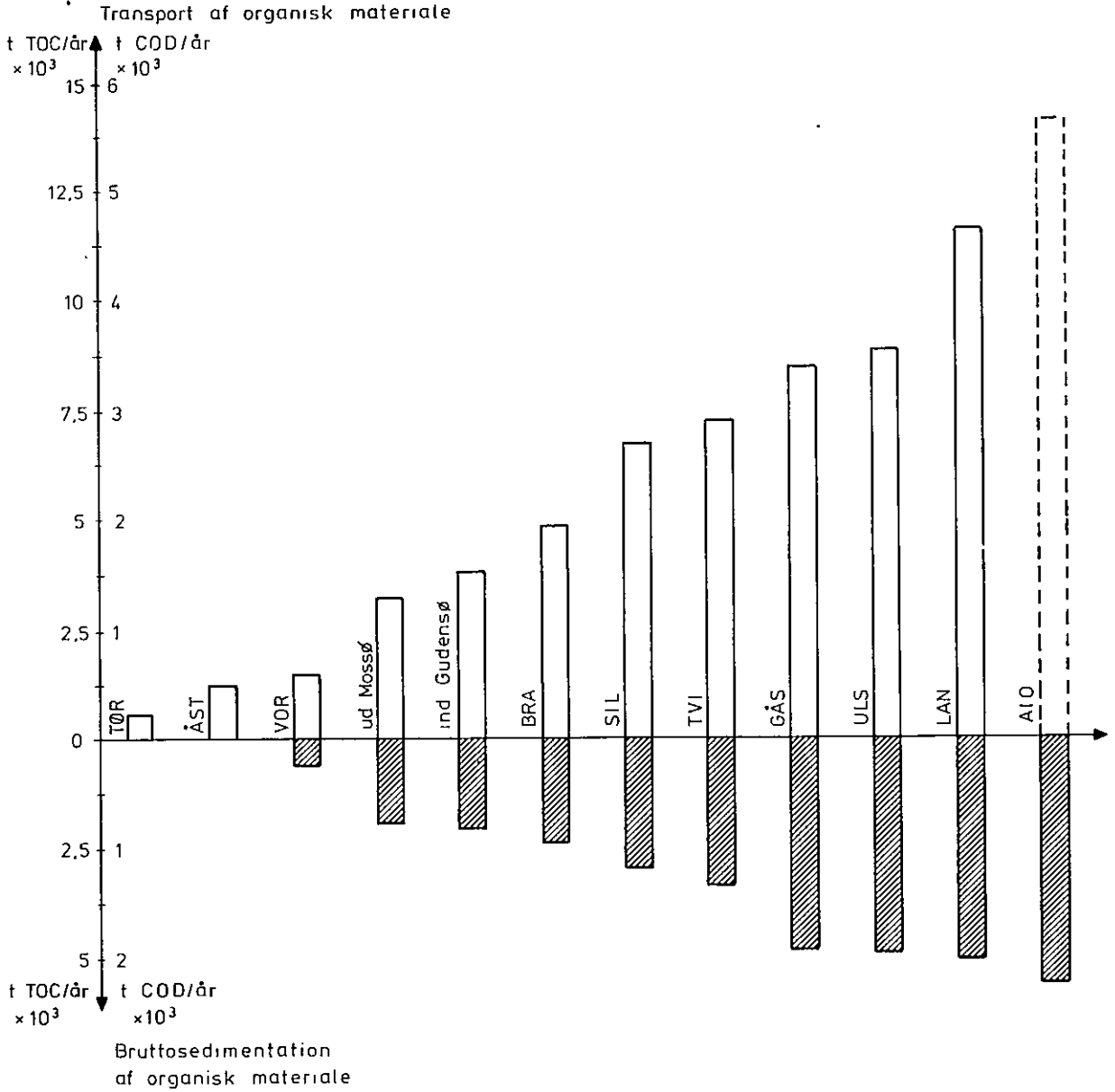
Overfladebelastning i 1974 for N og P af søerne.

Primærproduktion i 1974 i søerne fra /12/.

Hydraulisk opholdstid i 1974 i søerne fra /12/.

	Totaltransport ton COD	Bruttosedi- mentation ton COD	Σ Bruttosedi- mentation 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 7.3 Fordeling af stoftransport og bruttosedi-  
mentation af organisk materiale, angivet  
som COD, i Gudenåsystemet for året 1974.  
Ved multiplikation af værdierne i tabel-  
len med 2,5 findes de tilsvarende værdi-  
er for TOC.



Figur 7.3 Fordeling af stoftransport og bruttosedimentation af organisk materiale i Gudena-systemet for år 1974.

(Søjlerne under akser repræsenterer sedimentet og omsat materiale).

Sø	Nettoophobning			Denitri- fikation ton N/år	Sediment- respiration ton C/år	Sediment- tilvækst mm/år	Tilførsel		Overflade- belastning		Primer- produktion (inkubator) g C/m <sup>2</sup> ·år	Hydraulisk opholdstid middel døgn
	ton N/år	ton P/år	ton C/år				ton N	ton P	g N /m <sup>2</sup> ·år	g P /m <sup>2</sup> ·år		
Skander- borg søer	35	9,1	220	41	655	4	179	16,5	21 (28 <sup>***</sup> )	2 (5 <sup>***</sup> )	250 <sup>****</sup> )	740
Mossø	26	3,8	166	110	244	1	833 (214 <sup>**</sup> )	34,8 (10,1 <sup>**</sup> )	49 (16 <sup>**</sup> )	2 (0,8 <sup>**</sup> )	200 <sup>****</sup> )	265 <sup>*****</sup> )
Salten Langsø	10	3,8	75	13	50	3	69	9,2	23	3	140	76
Gudensø + Ry Møllesø	26 <sup>*)</sup>	1,1	-	-	-	(4)	780	38,0	448	22	200 <sup>****</sup> )	5
Birk sø + Juul sø	103 <sup>*)</sup>	5,6	-	-	-	(4)	880	51,8	143	6	240 <sup>****</sup> )	48
Borre sø	30 <sup>*)</sup>	1,8	-	-	-	(4)	815	53,2	418	27	240 <sup>****</sup> )	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 <sup>****</sup> )	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 (teoretisk) i Østbassinet er ca. 2½ år.

Tabel 7.4 Beregnede stofomsætninger i Gudenåsystemets søer 1974 samt supplerende data til belysning af disses størrelse.

## 8. REFERENCER

- /1/ Vandkvalitetsinstituttet  
Spildevandsundersøgelser  
Gudenåundersøgelsen 1973 - 75  
Gudenåudvalget 1976
- /2/ Vandkvalitetsinstituttet  
Dambrugsregistrering, belastning fra dambrug  
Gudenåundersøgelsen 1973 - 75  
Gudenåudvalget 1976
- /3/ Vandkvalitetsinstituttet  
Regnvandsundersøgelser  
Gudenåundersøgelsen 1973 - 75  
Gudenåudvalget 1976
- /4/ Vandkvalitetsinstituttet  
Intensive vandløbsundersøgelser  
Gudenåundersøgelsen 1973 - 75  
Gudenåudvalget 1976
- /5/ Det Danske Hedeselskab  
Vandførings- og vandstandsmålinger  
Gudenåundersøgelsen 1973 - 75  
Gudenåudvalget 1976
- /6/ Vandkvalitetsinstituttet  
Interkalibreringsrapport. Vandanalyser  
Gudenåundersøgelsen 1973 - 75  
Gudenåudvalget 1974
- /7/ Holm, T.F. og Tuxen-Petersen, F.  
Gudenåen 1974,  
Materialtransport i Gudenå  
Lab. for fysisk geografi,  
Geologisk Institut, Århus Universitet, 1976  
samt personlig kommunikation.

- /8/ Gudenaundersøgelsen 1973 - 75  
Larsen, V.  
Landbrugets potentielle bidrag til vandløbs  
næringssaltbelastning. En undersøgelse i to  
oplande til Gudenaen  
Det Danske Hedeselskab, 1976.
- /9/ Vandkvalitetsinstituttet, ATV  
Undersøgelse af spildevand fra papir- og  
papfabrikker  
Gudenaundersøgelsen 1973 - 75  
Gudenaudvalget 1976.
- /10/ Gudenaundersøgelsen  
Forundersøgelser 1972, Fællesrapport  
Gudenaudvalget 1973.
- /11/ Ohle, W.  
Primærproduktion des Phytoplanktons und  
Bioaktivität holsteinischen Seen, Methoden  
und Ergebnisse.  
Mitt. Int. Ver. Limnol., 14, 23, 1964.
- /12/ Vandkvalitetsinstituttet  
Søundersøgelser  
Gudenaundersøgelsen 1973 - 75  
Gudenaudvalget 1976.
- /13/ Edberg, N. og Hofsten, B.V.  
Oxygen uptake of bottom sediments studied  
in situ and in the laboratory.  
Water Research, 7, 1285, 1973.
- /14/ Hargrave, B.T.  
A comparison of sediment oxygen uptake, hypo-  
limnetic oxygen deficit and primary product-  
ion in lake Esrom, Denmark.  
Verh. Internat. Verein, Limnol., 18, 134,  
1972.