

012-2178

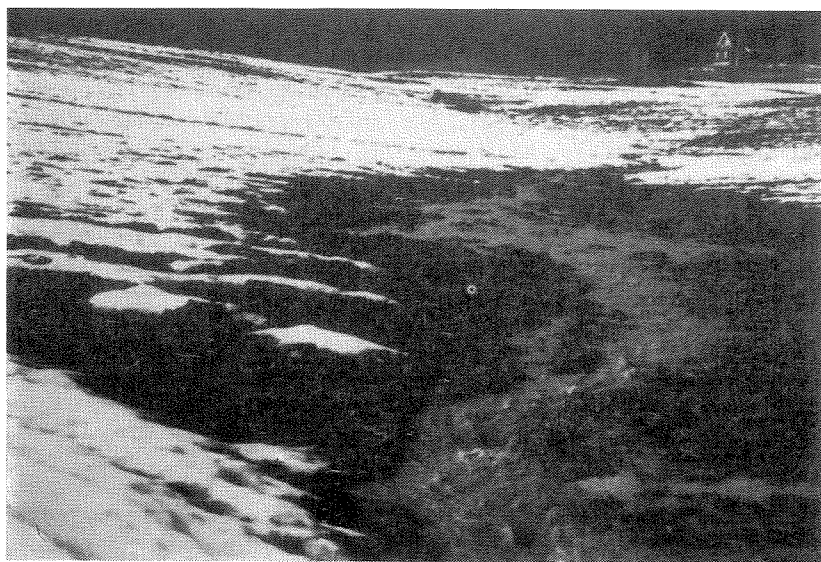
O-87064
O-87079
E-88431

Algetilgjengelighet av fosfor i jordbruksavrenning

Sammenliknet med andre forurensningskilder

Vekstforsøk med ferskvannsalgen *Selenastrum capricornutum*

Fase 1 - Fremdriftsrapport



NIVA – RAPPORT

Norsk institutt for vannforskning



NIVA

Hovedkontor

Postboks 33, Blindern
0313 Oslo 3
Telefon (02) 23 52 80
Telefax (02) 39 41 29

Sørlandsavdelingen

Grooseveien 36
4890 Grimstad
Telefon (041) 43 033
Telefax (041) 42 709

Østlandsavdelingen

Rute 866
2312 Ottestad
Telefon (065) 76 752

Vestlandsavdelingen

Breiviken 5
5035 Bergen - Sandviken
Telefon (05) 95 17 00
Telefax (05) 25 78 90

Prosjektnr.: 0-87079

0-87064

E-88431

Undernummer:

Løpnummer:

2178

Begrenset distribusjon:

Rapportens tittel:

ALGETILGJENGELIGHET AV FOSFOR I JORDBRUKSAV-
RENNING sammenliknet med andre forurensnings-
kilder. Vekstforsøk med ferskvannsalgen
Selenastrum capricornutum- Fremdriftsrapport

Dato:

19/12-88

Prosjektnummer: 0-87079

0-87064

E-88431

Forfatter (e):

Dag Berge
Torsten Källqvist

Faggruppe:

Vassdragsavd.

Geografisk område:

Østlandet
Jæren

Antall sider (inkl. bilag):

25

Oppdragsgiver:

Statens forurensningstilsyn
Norges hydrologiske komité
Norsk institutt for vannforskning

Oppdragsg. ref. (evt. NTNf-nr.):

Ekstrakt:

Rapporten omhandler eksperimentelle studier av algetilgjengeligheten av fosfor i arealavrenningen fra jordbruket, hvor det blir lagt særlig vekt på erosjonsavrenning fra korndyrkingsarealer. Algevekstforsøkene er utført i NIVA's laboratorium med testalgen Selenastrum capricornutum på gamma steriliserte, ufiltrerte vannprøver fra aktuelle lokaliteter. Algetilgjengeligheten er beregnet i forhold til hvor mye alger som ble produsert ved kjemisk rent ortofosfat. For sammenlikningens skyld er det også kjørt tilgjengelighetsforsøk på en rekke klassiske punktkilder.

4 emneord, norske:

1. Algetilgjengelighet
2. Fosfor
3. Jordbruksavrenning
4. Erosjonsmateriale

4 emneord, engelske:

1. Algal availability
2. Phosphorus
3. Agriculture runoff
4. Erosion matter

Prosjektleder:

Dag Berge

For administrasjonen:

Björk Trufv

ISBN - 82-577-1466-6

O-87064
O-87079
E-88431

Algetilgjengelighet av fosfor i jordbruksavrenning

Sammenliknet med andre forurensningskilder

Vekstforsøk med ferskvannsalgen *Selenastrum capricornutum*

Fase 1 - Fremdriftsrapport

Brekke 19 | 12-88

Saksbehandlere: Dag Berge
Torsten Källquist
Medarbeidere: Randi Romstad

FORORD

Den foreliggende rapport summerer opp resultatene fra fase 1 i prosjektet "Biotilgjengelighet av erosjonsfosfor fra jordbruksarealer". Rapporten er en fremdriftsrapport, og de foreløpige data underkastes derfor ikke noen omfattende faglig diskusjon. Sluttrapport fra prosjektet vil foreligge i løpet av første halvår 1989.

Statens forurensningstilsyn (SFT 0-87079) er prosjektets hovedsponsor, men det mottar også økonomisk støtte fra Norges hydrologiske komité (NHK 0-87064) og av Norsk institutt for vannforskning (NIVA E-88431).

Undersøkelsen er tilknyttet Handlingsplanen mot landbruksforurensninger og GEFO's forsøksfelter fra Romerike og Jæren inngår som prøvetakingslokaliter.

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

<u>Seksjon</u>	<u>Side</u>
1 SAMMENDRAG	1
1.1 Målsetting	1
1.2 Utført arbeid	1
1.3 Viktigste resultater	1
1.4 Nytteverdi.	3
1.5 Videre arbeid	4
2 INNLEDNING	5
3 MATERIALE OG METODER	6
3.1 Prøvetyper	6
3.2 Sterilisering av prøver	6
3.3 Algevekstforsøk	7
3.4 Beregninger	10
3.5 Kjemisk analyseprogram	11

Seksjon	Side
4 RESULTATER OG DISKUSJON	11
4.1 Bearbeidingsform	11
4.2 Arealavrenning fra kornarealer på Østlandet	13
4.2.1 Snøsmeltingsperioden	13
4.2.2 Sommersituasjon	13
4.2.3 Høstflom	16
4.2.4 Midlere tilgjengelighet av fosforet fra korndyrkingsarealer	18
4.3 Avrenning fra høstspredd naturgjødsel, eksempel fra Jæren.	19
4.4 Naturlig erosjonsmateriale	21
4.5 Punktkilder	22
5 LITTERATUR	24

1 SAMMENDRAG

1.1 Målsetting

Prosjektets målsetting er å belyse algetilgjengeligheten av fosfor i arealavrenningen fra landbruket, og å sammenlikne med en del andre klassiske forurensningskilder. Av særlig interesse er arealavrenning fra erosjonsutsatte korndyrkingsarealer på Østlandet.

1.2 Utført arbeid

Studiene er utført ved algevekstforsøk i laboratoriet med testalgen Selenastrum capricornutum på gammasteriliserte vannprøver fra aktuelle lokaliteter. Algetilgjengeligheten er beregnet i forhold til hvor mye alger som ble produsert med kjemisk rent ortofosfat.

Korndyrkingsareal på Østlandet er representert ved GEFO's Handlingsplanfelter på Romerike (Haugerfeltet og Lodingfeltet), samt felter i Hakadal, Billingstad i Asker, og et par felter ved Drøbak. Avrenning fra høstspredd naturgjødning er studert i GEFO's Handlingsplanfelter på Jæren. Kloakkavløp er studert i Volla RA på Hadeland og Bekkelaget RA i Oslo. Avløp fra sandfilterrenseanlegg er studert på Hauger på Romerike. Breavrenning er studert i utløpet fra Blåisen og Midtdalsbreen på Hardangerjøkulen. Prøver fra gjødselsig og silosaftavrenning er hentet på NLH. Undersøkelsene omkring fosfor i tøyvaskemidler er konsentrert om OMO.

1.3 Viktigste resultater

Midlere algetilgjengelighet av total fosfor fra de ulike typene forurensningskilder er gitt i fig. 1.

Figuren gir uttrykk for biotilgjengelighetskoeffisienter, og sier således ikke noe om det kvantitative bidrag fra de ulike kilder. En kilde vil kunne ha stor betydning selv om den har en liten tilgjengelighet, hvis kilden bare er stor nok.

1.4 Nytteverdi.

Nytteverdien av biotilgjengelighetskoeffisientene kommer først og fremst til sin rett ved utarbeidelse av tiltaksplaner. Multipliseres koeffisientene med kildenes kvantitative bidrag, får man et uttrykk for de ulike kilders relative betydning for algevekst i resipienten, og har således et bedre grunnlag for å prioritere.

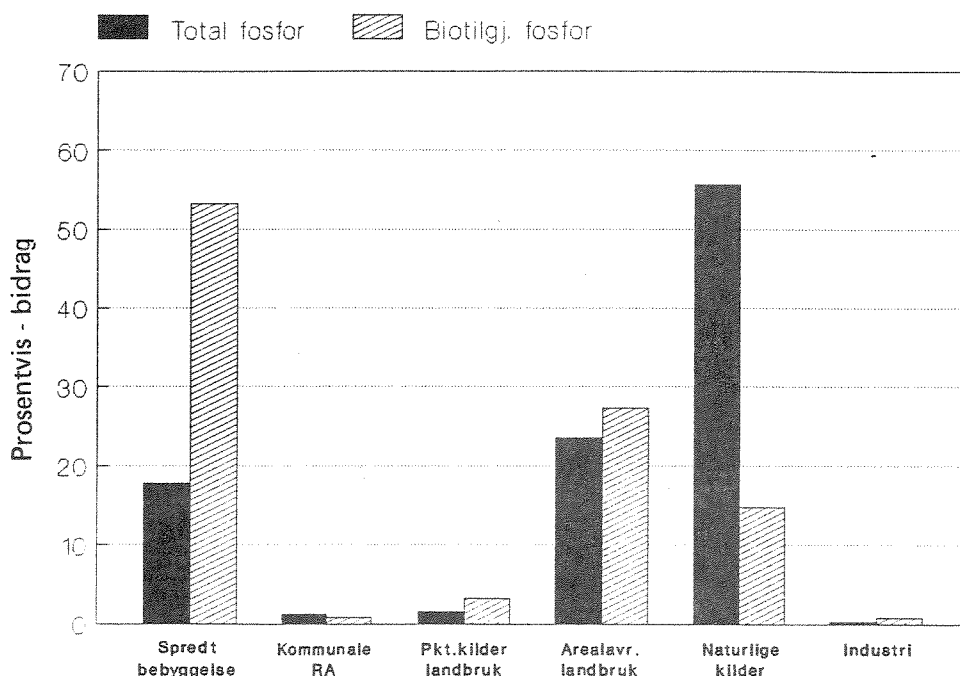


Fig. 2. De fremkomne biotilgjengelighetskoeffisienter anvendt på de beregnede fosfortilførsler til en innsjø (Eikeren i Vestfold, etter Åstebøl og medarb. 1987).

I fig. 2 har vi som eksempel anvendt tilgjengelighetskoeffisientene på tilførselsbudsjettet til Eikeren i Vestfold. I dette tilfellet ser man at betydningen av utslipp fra spredt bebyggelse, og jordbruksavrenning har øket i forhold til det totalfosfor-budsjettet tilsier, mens betydningen av de naturlige kilder er sterkt redusert. De største positive effekter i denne resipienten vil man oppnå ved å starte med tiltak mot utslipp fra spredt bebyggelse samt tiltak for å hindre arealavrenning fra jordbruket.

1.5 Videre arbeid

Sommeren og høst 1988 (fase 2) har vi testet biotilgjengeligheten av de ulike forurensninger i "meso-økosystem skala" for å fastslå hvorvidt de fremkomne biotilgjengelighetskoeffisienter har gyldighet også når det gjelder naturlige algesamfunn. Av særlig interesse var her å se på effekter av prosesser tilknyttet erosjonsmateriale som grumsing (mindre lys for algene) og utsedimentasjon av fosfor når partiklene synker. For planktonalger har vi nyttet 4m dype og 2,5 m brede plastinnhegninger (18 stk), som vi har fyllt opp med algeholdig overflatevann fra en innsjø, og dosert med de ulike typer forurensning. For begroingsforhold i elver, har vi nyttet 5 renner (15 m lange og 20 cm brede) med "kjeramiske steiner" i bunnen. Rennene er fôret med Maridalsvatn og podet med de algekim som finnes der. I rennene er det dosert erosjonsmateriale fra GEFO's forsøksfelter på Romerike.

Det er for tidlig å si noe sikkert om resultatene fra fase 2, men de foreløpige dataene tyder ikke på at resultatene fra fase 1 vil forandres svært mye, kanskje med unntak av de største doseringene av erosjonsmateriale.

Sluttrapport fra prosjektet er ventet i mai 1989.

2 INNLEDNING

Intensivering og overgang til nye driftsformer innen jordbruket har medført at jordbruket i dag er en betydelig kilde til vannforurensning.

Jordbruksaktivitetene i Norge kan grovt sett inndeles i 2 hoveddriftsformer: Kornproduksjon og husdyrhold. I førstnevnte kategori er forurensningen avhengig av gjødslingsmengde og erosjon, mens den for sistnevnte er avhengig av gjødselmengde, gjødselhåndtering, tidspunkt for gjødsling, sigevann, mm., i tillegg til erosjon. Begge aktiviteter resulterer i at det føres såkalte eutrofierende stoffer ut i vassdragene, dvs. gjødselstoffer som stimulerer algevekst, og på sikt også høyere vegetasjon (gjengroing).

Helt siden det i 1970-åra ble generell enighet om at menneskeinduserte fosfortilførsler var hovedårsaken til eutrofiering av ferskvann, har det pågått en diskusjon om hvilke fosfortyper som er mest skadelig. Fra jordbrukshold har det vært hevdet at fosforet i arealavrenningen er så sterkt bundet til partikler at det er lite tilgjengelig for algevekst, dessuten hevdes materialet å sedimentere raskt ut av innsjøenes produksjonssone. På motsatt side hevder vaskemiddelfabrikantene at fosforbidraget som kommer via vaskemidler er så lite sammenliknet med andre kilder, f.eks. erosjon fra jorder, at det nærmest er uten betydning. Kloakkfosfor har alltid vært oppfattet som svært algetilgjengelig, og bl.a. derfor er det på denne sektoren man har kommet lengst mht. rensing og avlastning.

I biotilgjengelighetsprosjektets fase 1 har vi sett på den direkte algetilgjengeligheten av arealavrenningens fosforinnhold målt med testalgen Selenastrum capricornutum. Svært enkelt beskrevet har forsøkene gått ut på å finne ut hvor mye alger det kan produseres ut fra 20 µg total fosfor fra de ulike kildene i forhold til den mengden som produseres fra 20 µg 100% tilgjengelig ortofosfat. Ved å multiplisere totalfosfor bidraget fra de ulike forurensningskildene med biotilgjengelighetskoeffisienter, vil man få et mer nyansert bilde av hva de ulike kildene betyr for algevekst i resipienten. Man vil da ha et bedre grunnlag for å prioritere tiltak enn vurderinger ut fra et rent totalfosfor budsjett.

3 MATERIALE OG METODER

3.1 Prøvetyper

Prøvene som har inngått omfatter bekkevann, drensvann, og synlig overflateavrenning i Hakadal, Romerike, Billingstad (Asker), Drøbak, og på Jæren. Undersøkelsene er således utført på typisk Østlandsjord (siltig leire) og typisk Jærenjord (sandrik morenejord). På Romerike og Jæren er prøvene tatt fra GEFO's "Handlingsplanfelter". Prøvene er tatt ved ulike årstider og værtyper, med varierende innhold av partikulært materiale. Vi har også sammenliknet med tilgjengeligheten av andre typer fosfortilførsler, som f.eks. klassiske punktkilder som silosaftavrenning, møkkadyngesig, urensset kloakk, rensset kloakk (kjemisk felling), kloakk rensset ved sandfiltergrøft, vaskemidler, mm.. Til slutt har vi også sett på biotilgjengeligheten av naturlig erosjonsmateriale, dvs. "ikke-forurenset" erosjonsmateriale som breslam fra Hardangerjøkulen. Punktvis kan de avrenningstyper som har inngått i biotilgjengelighetsstudiene summeres til:

- Synlig overflateavrenning fra åkerjord (snøsmelt., regnskyll).
- Åpne jordbruksbekker.
- Samlegrøfter (dren).
- Drensrør.
- Silolekkasjer.
- Gjødsekkjellerlekkasjer.
- Vaskemidler.
- Råkloakk.
- Avløp fra kjemiske renseanlegg.
- Avløp fra sandfilterrenseanlegg.
- Naturlig erosjon.

3.2 Sterilisering av prøver

For å kunne utføre algevekstforsøk med ufiltrerte prøver må vannprøvene steriliseres for å unngå vekst av "villalger" som er tilstede i prøvevannet. Forsøk med gamma-bestråling for sterilisering tydet på at metoden var bedre egnet enn autoklaving ved at de ulike fosfor-

fraksjonene (Total-P, løst P, og LMR-P) ble forholdsvis lite endret ved bestråling. Autoklaving førte til flokkulering og en kraftig reduksjon av den løste fosforfraksjonen i kloakkvann. I overflateavrenning fra dyrket mark ga begge behandlingsmetodene en økning i den løste P-fraksjonen (Se tabell 1.)

Tabell 1. Effekt av autoklaving og γ -bestråling (20 kGy) på kloakkvann og overflateavrenning fra dyrket mark. (Fosforverdier i $\mu\text{g/l}$.)

Prøve	Behandling	Tot.P	Løs.P	LMR-P (filt.)	LMR-P (ufilt.)
Kloakk	ubehandlet	2200	2200	1800	2200
"	autoklavert	3400	1200	585	2500
"	γ -bestrålet	3900	2600	2200	2600
Overflate	ubehandlet	72	45	38	50
"	autoklavert	78	61	53	60
"	γ -bestrålet	71	68	56	57

Bakterieanalyser (kimtall) viste at både autoklaving og γ -bestråling ga full sterilisering av prøvene.

En liter av prøvene ble behandlet med γ -bestråling ved Institutt for Energiteknikk. Stråledosen var ca 20 kGy fra en ^{60}Co -kilde.

3.3 Algevekstforsøk

Biologisk tilgjengelig fosfor (Bio-P) ble bestemt ved AGP-tester (AGP= Algal Growth Potential). Prinsippet for testene er beskrevet av Källqvist (1984). Etter bestråling ble prøvene fortynnet i destillert vann slik at innholdet av totalfosfor ble 20 $\mu\text{g/l}$. De fortynnede prøvene ble tilsatt et vekstmedium for alger uten fosfor (10% Z8-P). Vekstmediets sammensetning fremgår av tabell 2.

Tabell 2. Sammensetningen av algevekstmediet Z8-P (10%).

Konsentrasjon av salter		Grunnstoffkonsentrasjon				
I	NaNO_3	46.7	mg/l	N:	8.40	mg/l
	Na_2CO_3	2.1	"	P:	0.00	"
	K_2HPO_4	0.0	"	K:	1.40	"
II	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	5.9	"	Ca:	1.00	"
	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	2.5	"	Mg:	0.25	"
III	EDTA	0.37	"	S:	0.33	"
	$\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	0.28	"	Fe(III):	58.0	$\mu\text{g/l}$
IV	$\text{ZnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	22.3	$\mu\text{g/l}$	Mn:	8.1	"
	H_3BO_3	31.0	"	B:	5.4	"
	KBr	1.2	"	Br:	0.80	"
	KJ	0.83	"	J:	0.64	"
	$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	2.87	"	Zn(II)	0.66	"
	$\text{Cd}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	1.54	"	Cd:	0.56	"
	$(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	0.88	"	Mo(VI)	0.49	"
	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	1.25	"	Cu	0.32	"
	$\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	1.46	"	Co:	0.30	"
	$\text{NiSO}_4(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	1.98	"	Ni:	0.30	"
	$\text{Al}(\text{SO}_4)_3\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot 24\text{H}_2\text{O}$	4.74	"	Al:	0.27	"
	$\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0.33	"	W(VI)	0.19	"
	$\text{Cr}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$	0.41	"	Cr(III):	0.05	"
	V_2O_5	0.09	"	V:	0.05	"

Dyrkingsoppsettet var som vist i fig. 3. Til alle 4 kolbene ble det tilsatt 10% Z-8 vekstmedium uten fosfat. Kolbe I ble tilsatt alger og kjemisk rent ortofosfat til konsentrasjonen var 20 $\mu\text{gP/l}$. Kolbe II ble tilsatt prøvevann til tot P konsentrasjonen var 20 $\mu\text{gP/l}$. Her ble det ikke tilsatt alger. Denne prøven er en blindprøve for å korrigere for eventuelle fremmedpartikler i prøvevannet. Kolbe III ble tilsatt prøvevann til tot P konsentrasjonen var 20 $\mu\text{gP/l}$, samt alger. Prøve IV ble tilsatt prøvevann til tot P konsentrasjonen var 20 $\mu\text{gP/l}$, ortofosfat til en konsentrasjonen på 10 $\mu\text{gP/l}$, samt alger. Total fosfor konsentrasjonen i denne siste prøven var altså 30 $\mu\text{g P/l}$.

Testalgen som ble brukt var *Selenastrum capricornutum* fra en fosforbegrenset kultur. Inokulumtettheten var ca. 10^6 celler/l. Alle tester ble utført med tre paralleller.

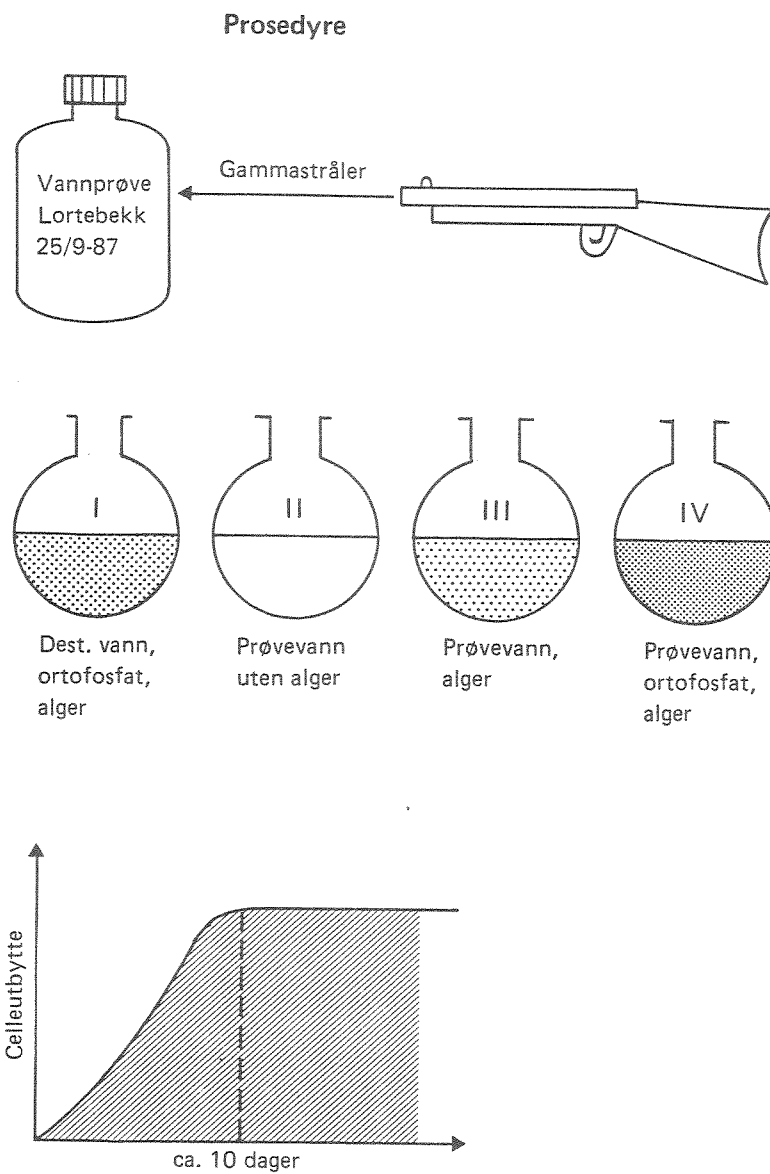


Fig. 3. Skjematisk oppsett over dyrkingsprosedyren, se tekst for forklaring.

Kolbene ble inkubert på et gyngbord under kontinuerlig belysning (ca. $70 \mu\text{E}/\text{cm}^2/\text{s}$) og konstant temperatur (20°C). Utbyttet av alger i kulturene ble bestemt ved telling av antall celler med en elektronisk

partikkelteller når veksten var kommet opp i stasjonær fase (9-14 døgn). Prøvene som ikke var podet med alger ble også talt for å kunne korrigere celledatallet for andre partikler.

Algeutviklingen i kolbene forløp omtrent som vist i kurven nederst i figur 3. Etter ca 10 dager sluttet algene å vokse p.g.a. næringsbegrensning. Siden alle næringsstoffer unntatt fosfor var tilsatt i overskudd, var utbyttet av alger bestemt av mengden tilgjengelig fosfor i kolben. Biotilgjengeligheten av prøvevannet ble bestemt utfra hvor mye alger som ble utviklet i kolbe III og IV i forhold til Kolbe I. I kolbe I ble det nærmest alltid produsert 500×10^6 celler pr. liter, dvs. 25×10^6 celler pr. $\mu\text{g P}$, se nedenstående kapittel om beregninger. Hvis man ikke fikk vekst i III, men i IV trakk vi den slutning at fosforet i prøvevannet var utilgjengelig. Hvis det ikke ble skikkelig vekst hverken i III eller IV, antok vi at det var gifteffekter i prøvevannet. Ellers skulle jo algene ha greidd å utnytte de 10 ekstra mikrogrammene med ortofosfat som ble tilsatt i kolbe IV.

3.4 Beregninger

Fra tidligere undersøkelser er det kjent at celleutbyttet av Selenastrum capricornutum er ca. 25×10^6 celler/ $\mu\text{g P}$. Dette ble bekreftet ved AGP- test i vekstmediet 10% Z8 med fosforkonsentrasjonen redusert til $10 \mu\text{g P/l}$. Celleutbyttet i 9 parallelle kulturer i dette mediet var 254×10^6 (standardavvik 31×10^6).

Biologisk tilgjengelig fosfor ble beregnet ved divisjon av celleutbyttet med utbyttefaktoren for fosfor (25×10^6 celler/ $\mu\text{g P}$). Dette ble gjort både i kulturrene med og uten tilsetning av $10 \mu\text{g P}$ (ortofosfat). Fra kulturrene med tilsetning av ortofosfat ble $10 \mu\text{g P}$ trukket fra og til slutt ble middelverdien for biologisk tilgjengelig P beregnet fra begge verdiene.

$$\text{AGPP} = 0.5 * \left(\frac{\text{AGP (1)}}{25 \times 10^6} + \frac{\text{AGP (2)} - 10}{25 \times 10^6} \right)$$

Hvor AGPP = tilgjengelig fosfor bestemt i AGP-test med $20 \mu\text{g Tot P/l}$.
 AGP (1) = Celleutbytte i kulturer uten tilsats av ortofosfat, dvs. fra kolbe III. AGP (2) = Celleutbytte i kulturer med tilsats av $10 \mu\text{g P/l}$, dvs. kolbe IV.

Biologisk tilgjengelig fosfor (Bio-P) i den ufortynnede prøven ble beregnet slik:

$$\text{Bio-P} = \text{AGPP} * f$$

hvor f = fortynningsfaktoren (Tot. P/20)

I noen prøver ble økningen i celleutbyttet i kulturene tilsatt 10 µg P lavere enn det teoretiske utbyttet 250×10^6 celler/l. Dette tyder på at veksten var hemmet av toksiske forbindelser i mediet. I disse prøvene kunne Bio-P ikke beregnes.

3.5 Kjemisk analyseprogram

Det kjemiske analyseprogrammet har omfattet pH, konduktivitet, turbiditet, total organisk karbon (TOC), suspendert tørrstoff (STS), Suspendert gløderest (SGR), Total fosfor (Tot.P), Løst fosfor (Løs.P) Løst molybdatreaktivt fosfor (LMR-P), Total nitrogen (Tot N), Nitrat (NO_3), ammonium (NH_4).

4 RESULTATER OG DISKUSJON

4.1 Bearbeidingsform

Foreløpig er materialet bare bearbeidet med tanke på å besvare prosjektets hovedmålsetning, nemlig hvor stor prosentandel av de ulike kilders totale fosfor innhold som kan brukes til algevekst. Analyseprogrammet har også omfattet ulike fraksjoner av både fosfor og nitrogen, samt organisk og uorganisk materiale. Disse resultatene kan gi interessante tilleggsinformasjoner, særlig mht. artsforskyvninger, noe vi kommer inn på i fase 2.

Alle resultatene er samlet i tabell P1 bak i rapporten.

Resultatene fra biotilgjengelighetsanalysene er fremstilt som i figureksempelen, fig. 4. Denne er å forstå på følgende måte:

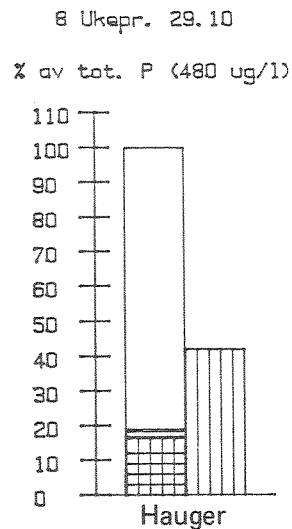


Fig. 4. Eksempel på dataenes figurfremstilling.

Konsentrasjonen av total fosfor i prøven er gitt i parentes i figur-overskriften. I den prosentuelle figuren representeres denne verdi av totalhøyden av venstre søyle. Det nedre delfeltet av søylen representerer andelen av løst molybdatreaktivt fosfor, LMR-P, (\approx ortofosfat), midtfeltet representerer løst ikke-reaktivt fosfor (LIR-P), og det øverste feltet av venstre søyle representerer det partikulært bundne fosforet (PP). Den høyre søylen forteller hvor stor andel av total fosforet i prøven som er tilgjengelig for algevekst (Bio-P).

Det konkrete figureksempelen (fig. 4), som er en ukeblandprøve fra GEFO's stasjon i Haugerbekken tatt den 29/10-87, har følgende budskap: Konsentrasjonen av tot P er $480 \mu\text{gP/l}$, av dette er ca 18% LMR-P, ca 2% er LIR-P og ca 80% er PP. Ca 42% av total fosforet er tilgjengelig for algevekst. Vi ser at alt løst fosfor, samt ca 23% av det partikulære fosforet er tilgjengelig i denne prøven.

I alt er det undersøkt 70 prøver. I 17 prøver har det oppstått gifteffekter for testalgen, og det har ikke vært mulig å beregne pålitelig tilgjengelighet av fosfor. Derfor presenteres bare resultatene fra de gjenværende 53 prøver. Årsaken til gifteffektene er ikke kjent, men veksthemmende stoffer må enten ha vært tilstede i prøvene eller blitt dannet ved γ -bestrålingen. Gifteffektene ble bare funnet i prøver med lavt innhold av fosfor, d.v.s. prøver som ble lite fortynnet før testing. Prøver med høyt fosforinnhold ble fortynnet så mye at eventuelle giftstoffer ikke påvirket testalgene.

4.2 Arealavrenning fra kornarealer på Østlandet

Erosjon fra korndyrkingsarealer og åpen åker tilfører vassdragene store mengder fosfor. Særlig er dette et problem på Østlandet og deler av Trøndelag. Utgangspunktet for prosjektet var å finne ut hva denne fosforkilden betydde for eutrofiering av vassdrag. Mange hevder nemlig at dette fosforet er så sterkt bundet til partikler at det er nærmest utilgjengelig for algevekst.

Korndyrkingsarealene er i denne undersøkelsen representert ved prøvetakingsfelter i Haugerbekken og Lodingbekken like ved Ullensaker kirke (Romerike), Hakadal i Nittedal, Billingstad i Asker og et par bekker ved Drøbakskanten (Solbergstrand og Drøbak). Vi har testet bekkevann, drensvann og synlig overflateavrenning (flomvann), både under vårflom (snøsmelting), typisk sommersituasjon og høstflom.

4.2.1 Snøsmeltingsperioden

Prosjektet kom først i gang i slutten av april 1987. Da var snøsmeltingen på Hauger- og Lodingfeltene ferdig, og vi har derfor bare prøver fra Hakadalfeltet og Billingstad i denne perioden.

Resultatene er gitt i fig. 5. På prøvetakingsdatoen 28/4-87 var det intens snøsmelting og betydelig overflateavrenning både i Hakadal og på Billingstad. Konsentrasjonene av tot P i overflateavrenningen var i Hakadal 730-840 $\mu\text{gP/l}$, mens ca 100 $\mu\text{gP/l}$ på Billingstad. Det aller meste av fosforet var partikulært, særlig utpreget var dette i Hakadal. I drensvann og bekkevann var konsentrasjonen betydelig lavere. Tilgjengelighetene av total fosforet i snøsmeltingsavrenningen fra Hakadalfeltene varierte fra 17% - 30%, mens i Billingstadfeltet var hele 50% av total fosforet tilgjengelig for algevekst.

4.2.2 Sommersituasjon

I denne perioden har vi prøver fra 16/6-87 og 6/8-87, fra Hakadalfeltene, samt Romeriksfeltene Hauger og Loding.

Resultatene er gitt i fig. 6 og i tabell P1 bak i rapporten. I prøvene

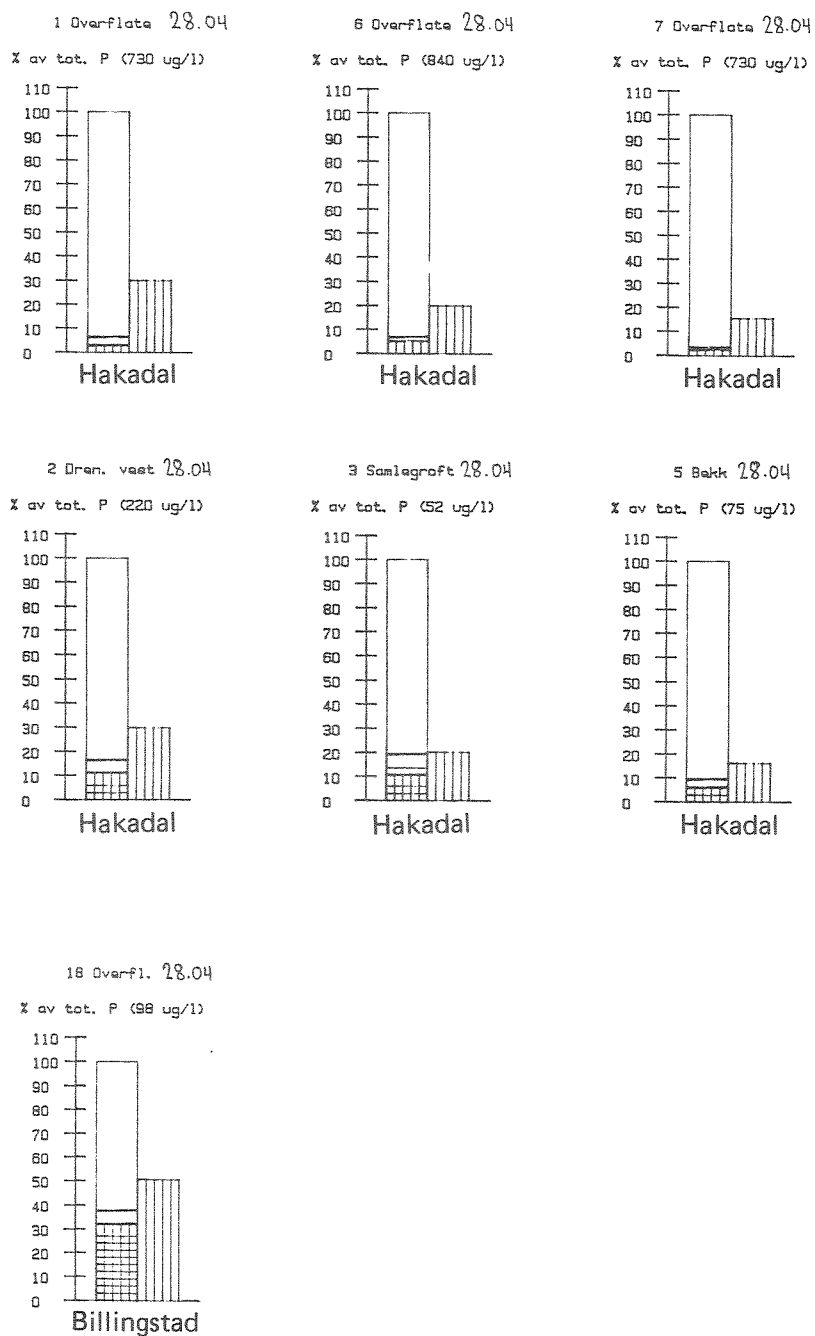


Fig. 5. Fosforkonsentrasjoner og algetilgjengelighet i avrenning fra jorder under snøsmeltingsperioden våren 1987

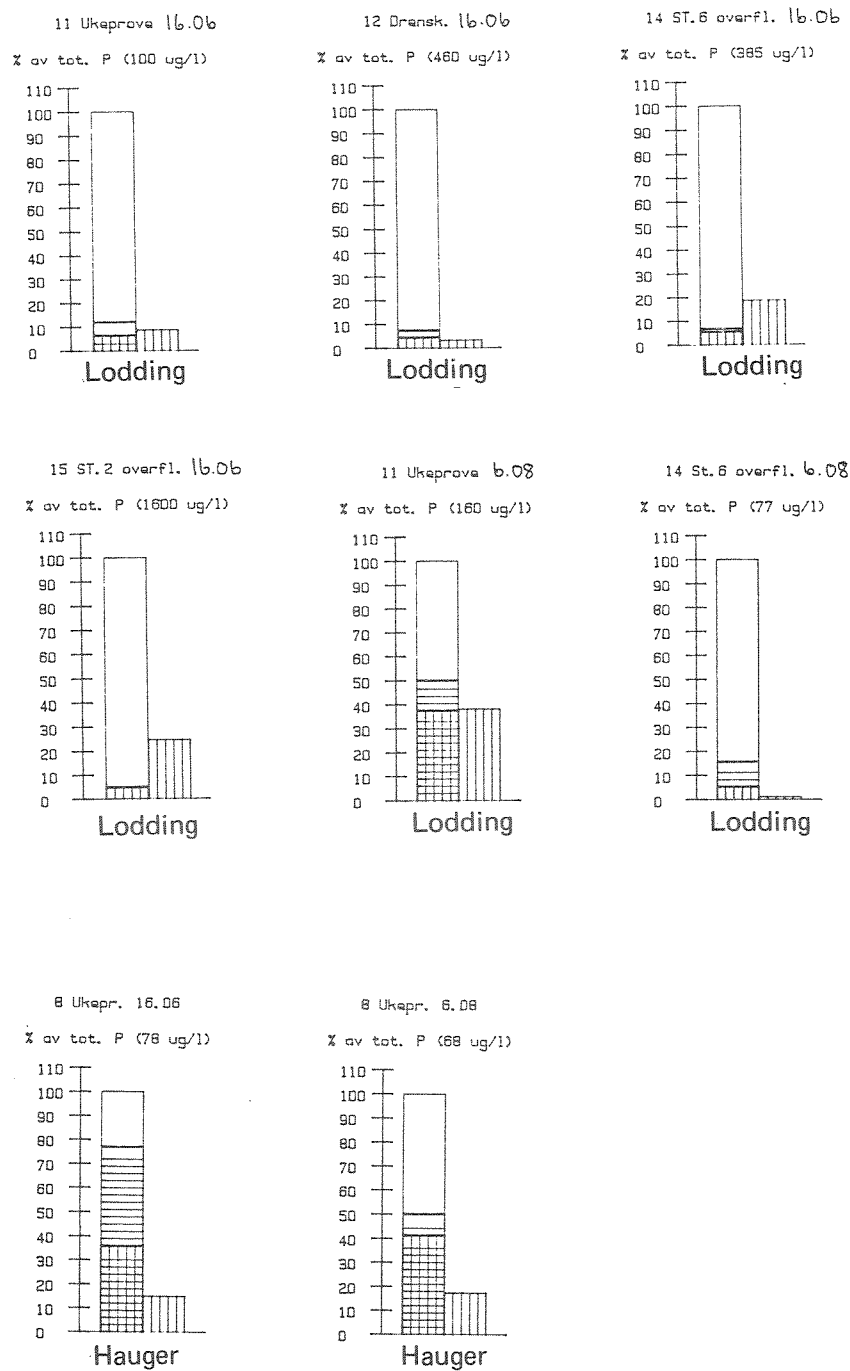


Fig. 6. Fosforkonsentrasjoner og algetilgjengelighet i avrenning fra jorder under sommersituasjonen. Prøver med gifteffekter er ikke medtatt, se tabell P1 for informasjon om disse.

fra Hakadal var det klare gifteffekter i denne perioden, og resultatene kunne ikke brukes til å beregne algetilgjengelig fosfor. Kurvene herfra er derfor ikke fremstilt i figuren.

Jevnt over var det mye lavere fosforkonsentrasjoner i avrenningsvannet fra jordene i denne perioden. Dette så ut til å gjelde såvel bekkevann, dreinsvann og til en viss grad overflateavrenning. I tillegg var fosforet mindre tilgjengelig enn det som kom i høstflommen. Dette kan ha sammenheng med at rotsystemene til terrestriske planter er aktive på denne tiden, og har et effektivt opptak av plantetilgjengelig fosfor i jordvæsken. Dette biologiske forbruket er mindre under flomperiodene vår og høst. Ved Haugerfeltet hadde bekkevannet den 16/6 og 6/8 total fosfor konsentrasjoner på hhv. 78 og 68 $\mu\text{gP/l}$, med de tilhørende biotilgjengeligheter på 15% og 17%. Et forstyrrende problem fra denne perioden var at prøvevannet ofte var giftig for testalgene. Hva dette skyldes er vi ikke helt klar over ennå. Det kan være reelle gifteffekter, forårsaket f.eks. av sprøyting med ugrasmidler, eller det kan være stoffer dannet ved steriliseringsprosessen. Ved stikkprøver ble ugrasmiddelet MCPA funnet i mange av prøvene.

4.2.3 Høstflom

I denne perioden har vi prøver fra følgende korndistrikter: Hauger og Loding på Romerike, Hakadal, Solbergstrand og Drøbak.

Resultatene er fremstilt i fig. 7, samt i tabell P1 bak i rapporten.

De høyeste fosforkonsentrasjonene fant vi her under høstflommen (29/10-87) i nylagte dreinsrør i Lodingfeltet, på 2440 $\mu\text{gP/l}$. Det var også i disse prøvene at vi fant det største partikkelinnholdet med konsentrasjoner opp i 6.8 g tørrstoff pr liter. Tilgjengeligheten av fosforet i disse dreinsrørene var relativt høy, ca 40%. I henhold til Krogstad og medarb. (1988) skyldes den høye fosfortransporten i nylagte dreinsrør selektiv utvasking av finpartikulært fosforrikt materiale fra tilbakefyllingsmassen i grøftene. I de eldre mer konsoliderte dreinsgrøftene, f.eks. Hauger dren hvit, 29/10-87 var konsentrasjonene av P og STS hhv 870 $\mu\text{gP/l}$ og 1.2 g STS/l. Dette er fremdeles høye verdier. Tilgjengeligheten var her noe mindre, ca 20%. Sammenlikner man disse verdiene med synlig overflateavrenning i pløeyforer etc. fra de samme jorder og samme dato, var høyeste total fosfor konsentrasjon her 1860 $\mu\text{gP/l}$ og laveste 780 $\mu\text{gP/l}$. Tilgjengeligheten var hhv 40% og 30%, altså av samme størrelsesorden.

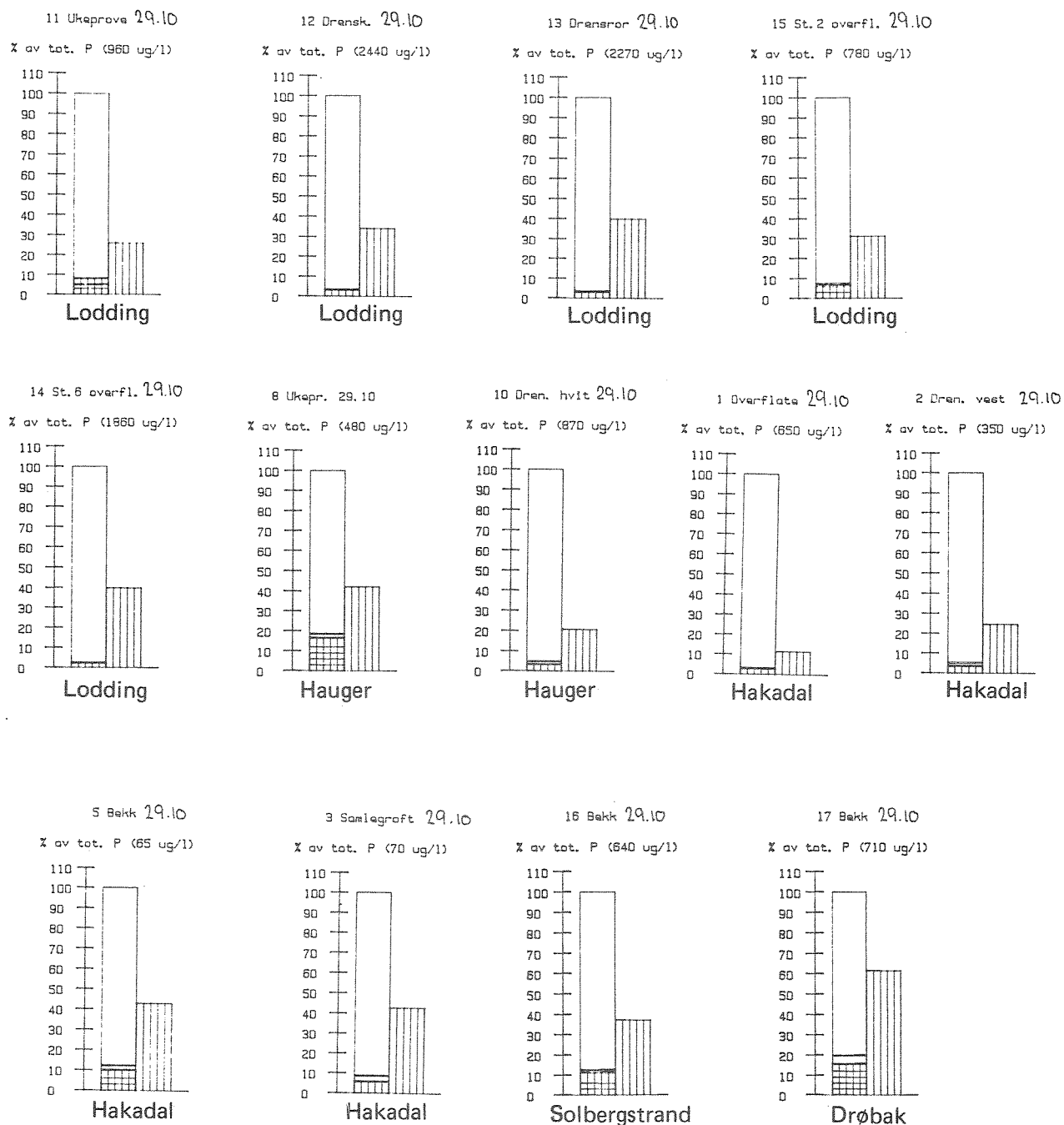


Fig. 7. Fosforkonsentrasjoner og algetilgjengelighet i avrenning fra korndyrkingsarealer under høstflom.

I Hakadal feltet, hvor det er lavere leirinnhold i jorda, samt at dreneringssystemene er eldre, induserte flommen langt lavere fosforkonsentrasjoner både i bekk, drensgrøfter og overflateavrenning, hhv 65, 350, 650 $\mu\text{gP/l}$. I tillegg til vanlige små drensør hadde man her også en stasjon i en stor samledren, dvs et stort rør som tar inn et nettverk av smårør. Konsentrasjonen i denne var etter flommen (29/10) 70 $\mu\text{gP/l}$. Tilgjengelighetene var imidlertid ikke så vesensforskjellige fra Haugerfeltet, hhv. 43%(bekk), 24.5%(dren), 11.4%(overflateavrenning) og 43%(samledren). Det er betydelig større tilgjengelighet i grøftevannet enn i overflateavrenningen.

Det ble også tatt prøver fra et par jordbruksbekker i søndre Akershus under flommen 29/10-87, her kalt Drøbak og Solbergstrand. Konsentrasjonen av total fosfor var her hhv 710 og 640 $\mu\text{gP/l}$. Av dette var hhv 61.4% og 37.3% tilgjengelig for algevekst.

4.2.4 Midlere tilgjengelighet av fosforet fra korndyrkingsarealer

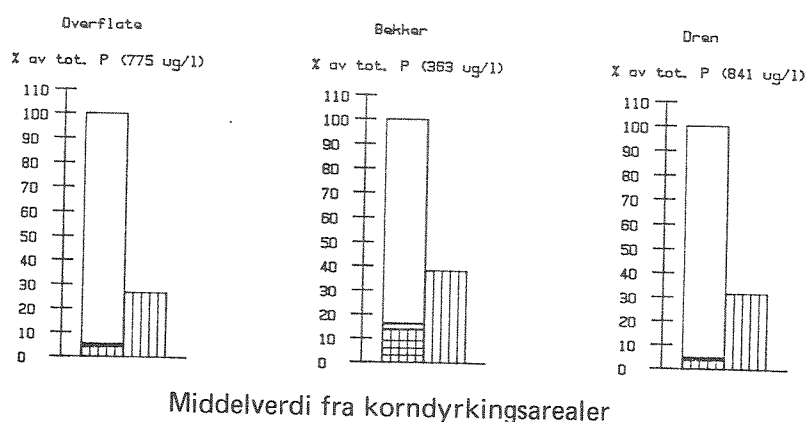


Fig. 8. Midlere fosforkonsentrasjon og algetilgjengelighet i avrenningsvann fra korndyrkingsarealer.

Middelverdier av samtlige prøver fra korndyrkingsarealer på Romerike,

Hakadal, Drøbak og Billingstad, fordelt på overflateavrenning, bekkevann og drensvann, er fremstilt i fig. 8. Drensvannet hadde den høyeste middelkonsentrasjonen av totalfosfor, 841 $\mu\text{gP/l}$. 95% av dette var partikulært fosfor. Ca 32% av totalfosforet var algetilgjengelig, dvs. alt det løste samt ca 25% av det partikulære fosforet. Bekkevannet hadde de laveste fosforkonsentrasjonene 363 $\mu\text{gP/l}$, men den høyeste tilgjengelighet, ca 39%. Tot P konsentrasjonen i overflateavrenningen var i middel 775 $\mu\text{gP/l}$, med en tilgjengelighet på ca 28%.

4.3 Avrenning fra høstspredd naturgjødning, eksempel fra Jæren.

Det skjer et betydelig tap (60-90%) i gjødseleffekt ved høstspredning av naturgjødning sammenliknet med spredning i forbindelse med vekstsesongens start. Tapet skyldes dels utvasking i forbindelse med høstflom og snøsmelting og dels binding i jorda (Tveitnes 1985). For å få begrep om avrenningen fra høstspredd naturgjødning, ble det tatt noen prøver fra GEFO's forsøksfelter på Jæren i forbindelse med utkjøring av blautgjødning senhøstes 1987.

Det er mye som tyder på at næringssaltene holdes dårlig tilbake i den vannmettede morenejorda, se tabell 3. Særlig stor forskjell i fosforkonsentrasjon er det mellom drensør fra gjødslet jorde og ugjødslet jorde.

Tabell 3. Prøver fra Jæren i forbindelse med høstspredning av naturgjødning.

Lokalitet	Tot P	Løst P	Løst reakt.P
	$\mu\text{gP/l}$		
1) Timebekken i flom ukeprøve 10-17/11-87.....	230	64	53
2) Timebekken etter flommen.....	270	59	49
3) Herikstadbekken 26/11(nyspredd møkk på jordene).....	1170	170	120
4) Drensgrøft på jorde med nyspredd møkk 26/11-87.....	2300	730	590
5) Drensgrøft på nabojordet 26/11-87, ikke spredd møkk.....	32	25	21
6) Overflateavrenning 15/11-87 på jorde gjødslet med naturgjødning den 2/11-87.....	2350	2100	1600

Resultatene fra tilgjengelighetsanalysene er gitt i fig. 9. det oppstod en del gift- og veksthemmende effekter i prøvene som er vanskelig å forklare. I overflateavrenningen var fosforet 100% tilgjengelig for algevekst. Vannet i Timebekken var også meget letttil-

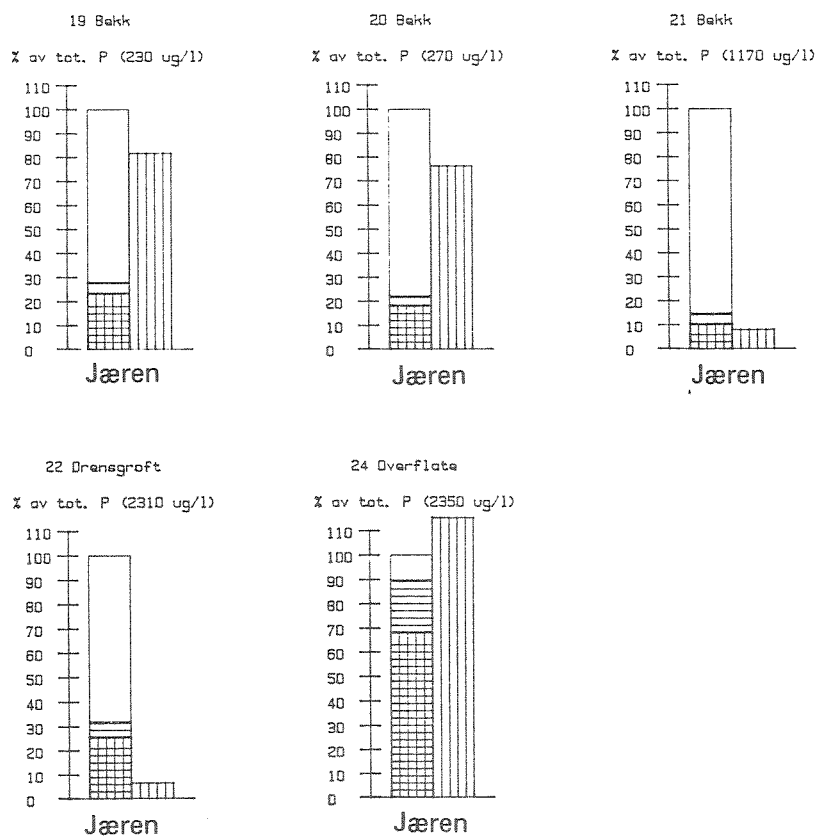


Fig. 9. Algetilgjengelighet av avrenningsfosfor fra høstgjødslede jorder på Jæren.

gjengelig, ca 80%. I Herikstadbekken var det derimot en del veksthemming, det samme i drengsvannet.

Resultatene tyder generelt på at fosforavrenningen fra høstgjødslede jorder er stor og at fosforet herfra er lett tilgjengelig.

4.4 Naturlig erosjonsmateriale

Som kjent er det isbreenes skuring og senere avsetninger som har gitt opphav til jorda som vi i dag dyrker. For å få et innblikk i algetilgjengeligheten av dette naturlige erosjonsmaterialet før det ble gjødslet, har vi tatt prøver av breutløp fra Hardangerjøkulen ved Finse. De to utløpene var fra bretungene Blåisen og Midtdalsbreen. På den sistnevnte eroderes næringsrike fylittbergarter, mens Blåisen skurer mer på næringsfattige gneiss og granitter, noe fylitt er det imidlertid der også.

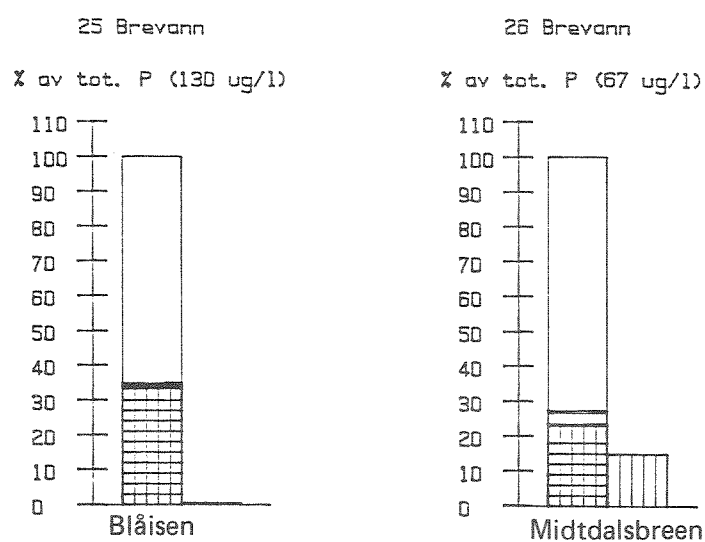


Fig. 10. Konsentrasjoner og biotilgjengelighet av fosfor i erosjonsmaterialet fra 2 bretunger på Hardangerjøkulen.

Av resultatene som er gitt i fig. 10, fremgår det at det var relativt høye fosforkonsentrasjoner i breutløpene, men at dette var lite tilgjengelig. Utløpet fra Blåisen var nærmest utilgjengelig, mens algene greide å utnytte ca 14% av fosforet fra Midtdalselva, en forskjell som må ses i lys av bergartenes næringsrikdom, se over.

4.5 Punktkilder

Med tanke på å bedre grunnlaget for prioritering av forurensningsbegrensende tiltak, har vi for sammenlikningens skyld også kjørt biotester på en rekke klassiske punktkilder. Disse er:

- Urenset kloakk
- Kjemisk rensed kloakk
- Sandfilterrensed kloakk
- Tøyvaskemidler
- Silolekkasjer
- Gjødselekjellerlekkasjer

Resultatene er fremstilt i fig. 11. Med hensyn til konsentrasjoner stiller prøvene fra silolekkasje- og gjødselekjellerlekkasje i en klasse for seg med hhv 606000 og 67000 µgP/l. Tilgjengelighetene er også høye, hhv. 54% og 75%.

Når det gjelder urensed kloakk, har vi testet innløpsvannet på 2 renseanlegg, Bekkelaget i Oslo og Volla på Hadeland. Fosforet i råkloakken på Volla var ca 77% tilgjengelig for alger, mens på Bekkelaget fikk vi ikke mer enn vel 20% tilgjengelighet. Hva denne forskjellen består i er noe uklart. Det bør imidlertid nevnes at vi har testet kloakkvannet på Bekkelaget RA tidligere i andre sammenhenger, og det har da gitt betydelig større tilgjengeligheter.

I den rensede kloakken fra begge kjemiske renseanleggene fant vi klare gifteffekter og resultatene gir ikke grunnlag for beregning av tilgjengelighet. Hva gifteffektene skyldes er uklart, men det kan nevnes at (Engblom og Lingdell 1983) fant gifteffekter på biologien nedenfor utløpet av kjemiske renseanlegg med Al-felling og dels med jernfelling i svenske vassdrag. Bekkelaget har jernfelling og Volla har Al-felling. Det er imidlertid trolig at fosforet i avløpet fra kjemiske renseanlegg som fungerer bra, er sterkt bundet til "fnokker" og relativt lite tilgjengelig. Vurdert også ut fra tidligere testresultater vil et konservativt estimat ligge på ca 20% tilgjengelighet.

Fosforavløpet fra sandfilterrenseanlegget som inngikk i undersøkelsen, var svært letttilgjengelig for algevekst, fra 70-100%. Her ble det ikke registrert noen gifteffekter.

Når det gjaldt vaskemidler har vi bare testet et merke, nemlig OMO. Fosforet i dette var ca 70% tilgjengelig.

Punktforurensninger

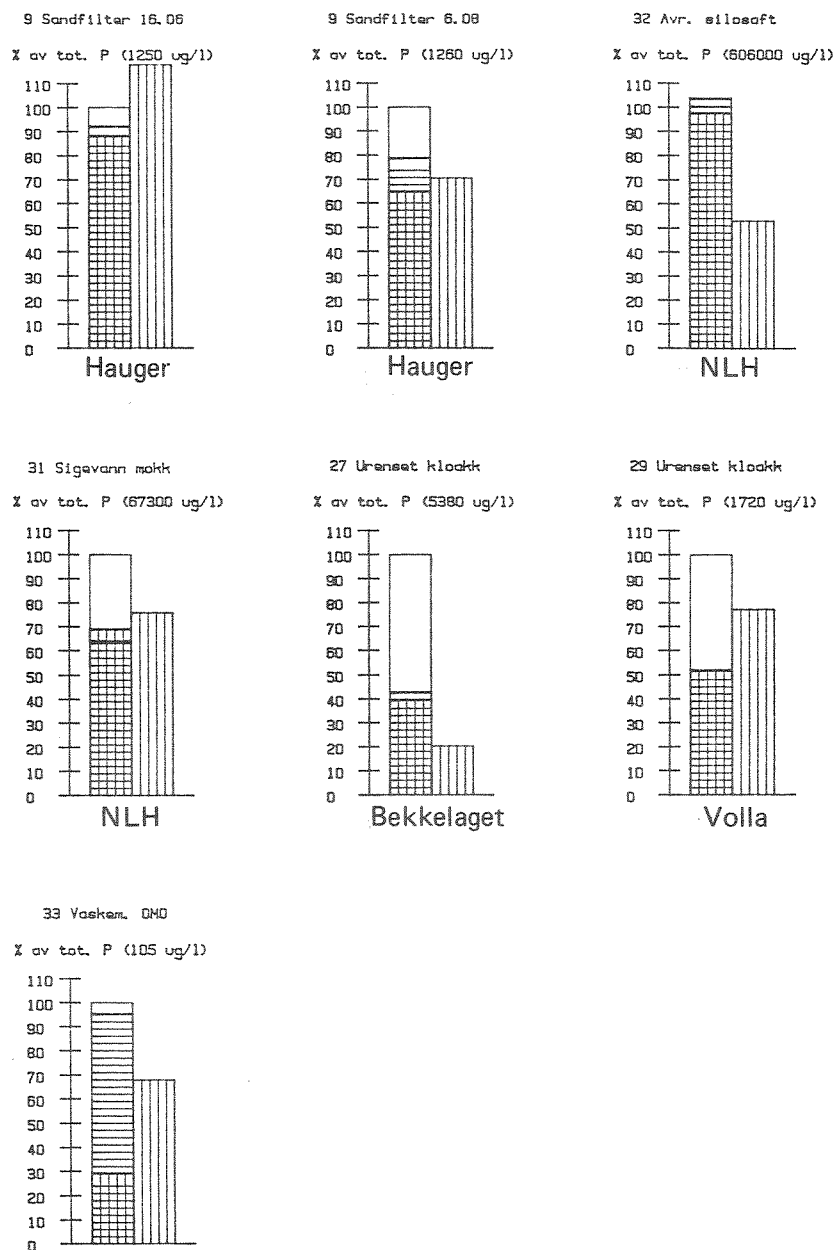


Fig. 11. Konsentrasjoner og algetilgjengelighet av fosfor i en del klassiske punktforurensningskilder.

5 LITTERATUR

- Engblom, E., og P.E. Lingdell 1985: Hur påverkar reningsverk med olika fellingskemikalier bottenfaunaen? Rapport fra Statens Naturvårdsverk, SNV pm 1978: 74 sider.
- Källqvist, T. 1984: Biotester. I Vennerød, K.: Vassdragsundersøkelser, en metodebok i limnologi. Norsk Limnologforening. Universitetsforlaget, Oslo. side 252-267.
- Krogstad, T., Ø. Løvstad og B. Rognerud, 1988: Fosfor i jord og vann. En orientering om fosforet og virkninger i elver og sjøer. Handlingsplanen mot landbruksforurensninger, GEFO rapport, 38 sider.
- Tveitnes, S. 1985: Virkning og bruk av husdyrgjødsel, gjødsel, jordforbetningsmiddel og avfall med forurensningsrisiko. Rapport serie B 5/85, Inst. jordfag, NLH: 38 sider.
- Åstebøl, S.O., F. Rosland, B. Malme og D. Berge 1987: VANNBRUKSPLAN FOR EIKERENVASSDRAGET Delutredning om vannkvalitet, forurensningstilførsler, samt tiltak for å sikre Eikeren som framtidig drikkevannskilde. Samarbeidsrapport GEFO/NIVA, 68 sider.

Tabell P1.

Tabell P1. Kjemiske og biologiske analyseresultater fra samtlige prøver. Algetilgjengelig fosfor er gitt i kolonnene lengst til høyre. * = utelatt pga. gifteffekt.

PRØVE	Nr.	TYPE	DATO	pH	Kond. mS/m	Turb. J.T.U.	TOC mg/l	STS mg/l	SGR mg/l	Tot. P µg/l	Løs. P µg/l	LMR-P µg/l	Tot. N µg/l	NO3 µg/l	NH4 µg/l	AGB 10 / l	AGP+P 10 / l	Bio-P µg/l	Bio-P %
Hakadal	1	Overfl.	28.04	-	-	9600	7.93	770	742	730	46	21.5	3000	2100	105	154	396	219.0	30.0
Hakadal	2	Dren.vest	28.04	-	-	420	6.65	41.2	38.2	220	36	24.5	5000	4050	-	94	454	65.6	29.8
Hakadal	3	Samlegrøft	28.04	-	-	38	4.05	39.7	37	52	10	5.5	1500	970	-	86	365	10.5	20.1
Hakadal	5	Bekk	28.04	-	-	35	3.98	58.2	54.4	75	7	4.5	1700	1080	-	46	365	12.1	16.1
Hakadal	6	Overfl.	28.04	-	-	4100	13.7	648	598	840	57	42.5	3500	1850	-	57	392	167.2	19.9
Hakadal	7	Overfl.	28.04	-	-	3200	17.6	503	459	730	37	31.5	3900	2200	-	38	368	113.9	15.6
Billingstad	18	Overfl.	28.04	-	-	28	5.91	26.5	21.3	98	37	31.5	4600	3700	-	212	543	49.5	50.5
Hakadal	3	Samlegrøft	16.06	6.67	15.15	6.6	3.4	-	-	31	8	5.5	8300	7250	50	0	0	*	*
Hakadal	5	Bekk	16.06	6.93	15.81	6.7	2.82	-	-	33	6	4	8900	7850	25	3.3	2.4	*	*
Hakadal	4	Dren. vest	16.06	6.65	66.5	8.8	5.37	-	-	20	20	11.5	43000	53000	40	0.5	0	*	*
Hakadal	2	Dren. øst	16.06	6.41	33.2	4.3	3.18	-	-	89	38	37	25000	24500	375	3.4	2.3	*	*
Hauger	8	Ukepr.	16.06	7.25	70.4	27	9.38	-	-	78	60	28	28000	28000	420	83	316	11.6	14.9
Hauger	10	Dren. hvit	16.06	6.9	51.9	1	1.63	-	-	10	10	7.5	24400	23500	10	0	0	*	*
Hauger	9	Sandfiltr.	16.06	7.01	45	12	7.91	-	-	1250	1150	1100	13300	5300	6590	574	855	1473.8	117.9
Lodding	11	Ukepr.	16.06	7.42	34.9	39	8.3	-	-	100	12	6.5	15200	13100	60	15	322	8.7	8.7
Lodding	12	Drensk.	16.06	6.65	58.7	290	10.9	-	-	460	34	20.5	44000	44000	700	0	283	15.2	3.3
Lodding	13	Drensrør	16.06	7.06	105.7	5.6	2.24	-	-	33	23	20	25800	24500	10	0	0	*	*
Lodding st.6	14	Overflate	16.06	7.75	39	230	11.3	-	-	385	26	21	8100	6200	185	57	379	71.6	18.6
Lodding st.2	15	Overflate	16.06	7.76	20	180	27.1	-	-	1600	80	76	8000	4400	275	72	424	393.6	24.6
Hakadal	3	Samlegr.	6.08	7.29	15.3	15	3.34	-	-	29	23	13	2900	2050	250	0	23	*	*
Hakadal	5	Bekk	6.08	7.58	13.3	6.2	3.15	-	-	23	13	9	2500	1950	25	0.2	14.5	*	*
Hauger	8	Ukeprøve	6.08	7.94	46	11	10.7	-	-	68	34	28	1300	525	105	126	297	11.8	17.3
Hauger	9	Sandfiltr.	6.08	7.21	26.5	56	8.58	-	-	1260	990	815	10500	4100	4750	318	637	888.3	70.5
Lodding	11	Ukeprøve	6.08	7.37	89.2	9.4	15.9	-	-	160	80	60	4000	1260	1600	175	456	61.0	38.1
Lodding	12	Drensk.	6.08	6.88	40.4	22	12.4	-	-	54	32	15.5	2900	455	70	0	0	*	*
Lodding st.6	14	Overflate	6.08	7.22	23.5	33	10.4	-	-	77	12	4	1700	49	105	108	154	0.9	1.2
Møkkadyngje	31	Silgevann	4.09	7.48	2320	570	-	-	-	67300	43000	46300	16400	0	15300	358	645	51000.0	75.4
Bekkelaget	27	avr.	4.09	4.1	1752	190	-	-	-	606000	627000	590600	8800	2820	626	214	571	320456.0	53.5
Bekkelaget	28	Renset	4.09	6.5	0.27	20	-	-	-	5380	2290	2120	47200	35	30800	90	363	1092.1	20.3
OMO	33	Vaskemiddel	4.09	6.82	0.26	12	-	-	-	1460	1030	175	33200	11	27800	3.6	136	*	*
Middalselva	25	Brevann	4.09	7.03	2.89	120	-	-	-	105	100	30.5	300	1	0	288	641	71.3	67.9
Hakadal	26	Brevann	4.09	6.75	3.48	22	-	-	-	130	45	43.5	300	11	0	5.6	250	0.7	0.6
Hakadal	1	Overflate	29.10	7.92	20.3	1000	13.9	846.67	800	650	21	18.5	1500	490	20	38	360	9.9	14.8
Hakadal	3	Samlegr.	29.10	6.84	8.73	50	4.26	38	35.25	70	6	4	1400	810	40	20	344	74.1	11.4
Hakadal	5	Bekk	29.10	7.11	9.3	47	4.17	35.5	33.25	65	8	6.5	1700	1100	70	115	564	29.9	42.7
Hauger	2	Dren. vest	29.10	7.03	19	460	16.1	293	277	350	18	12.5	1400	640	10	51	444	85.8	24.5
Hauger	8	Ukeprøve	29.10	7.19	50.4	290	15.3	247	234	480	89	79	6300	5400	110	147	523	201.6	42.0
Hauger	10	Dren. hvit	29.10	7.15	24.4	1920	26.8	1212	1136	870	42	28.5	7900	6450	25	46	411	180.1	20.7
Lodding	11	Ukeprøve	29.10	7.14	24.6	740	24.5	760	742	960	48	78	4800	1045	1800	75	435	249.6	26.0
Lodding	12	Drensk.	29.10	6.43	18.4	9200	56.7	6808	6464	2440	83	76	4000	635	150	86	505	832.0	34.1
Lodding	13	Drensrør	29.10	6.78	28.4	6800	49.1	5056	4788	2270	79	67.5	7200	3150	40	134	514	903.5	39.8
Lodding st.6	14	Overfl.k.	29.10	7.36	30.4	5200	37.4	4580	4328	1860	60	47	3900	1900	80	146	413	241.0	30.9
Lodding st.2	15	Overfl.k.	29.10	7.09	16.9	680	18.6	578	542	780	55	40	4000	2100	45	123	500	238.7	37.3
Solbergsstrand	16	Bekk	29.10	7.48	17.9	220	20.3	342	306	640	80	71.5	4000	2100	45	255	609	435.9	61.4
Drøbak	17	Bekk	29.10	7.17	18.9	320	19	224	200	710	140	110	5200	3950	45	255	609	435.9	61.4
Timebekken i flom	19	Bekk	2.12	7.03	25.1	6.8	12.2	18	10	230	64	53.5	6900	5200	0	379	688	187.9	81.7
T.-bekk etter flom	20	Bekk	2.12	6.86	27.2	9.7	12.4	23.3	14	170	59	49	8000	5850	170	360	653	206.0	76.3
Herikstadbekken	21	Bekk	2.12	7.26	63.6	36	80.2	73	10	1170	170	120	31300	12	18400	87	244	94.8	8.1
Nyspredd møkk	22	Drengrøft	2.12	7.28	89.6	72	204	127	15	2310	730	590	55700	15	35400	29	286	150.2	6.5
Jorde uten møkk	23	Drengrøft	2.12	7.24	30.9	0.47	5.33	0.67	0.33	32	25	21	9600	7800	0	0	0	*	*
Jorde med møkk	24	Overflate	2.12	7.02	13.16	32	17.6	58	36	2350	2100	1600	5100	64	2260	560	845	2714.3	115.5
Volla RA	30	Renset	2.12	6.83	43.3	6.6	4.25	9.6	4.4	39	5	0.5	6900	1145	4370	12	10	*	*
Volla RA	29	Renset	2.12	7.66	40.9	31	19.2	84.5	36	1720	890	890	16500	2850	5400	292	729	1326.1	77.1