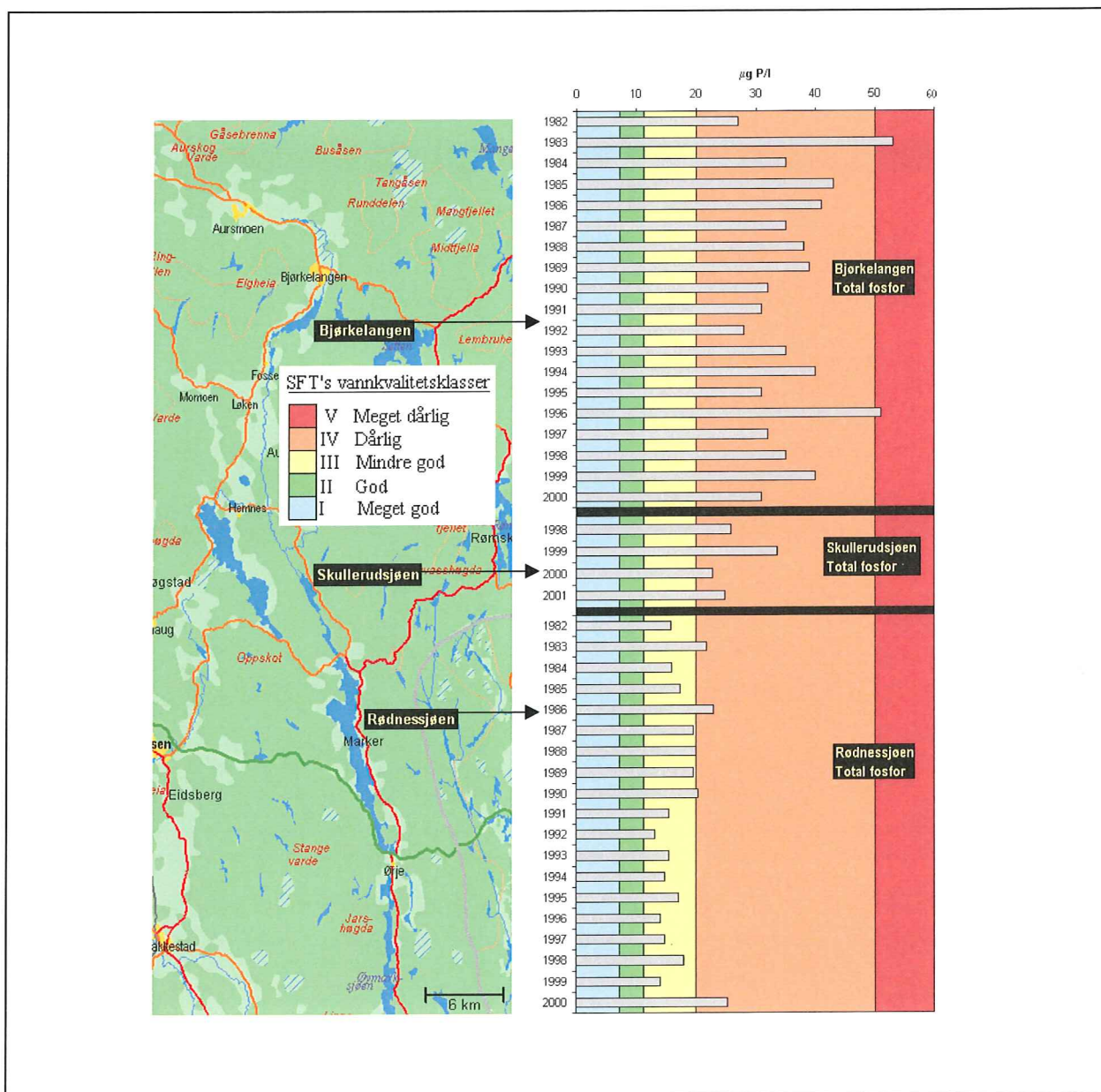




Rapport 4557-2002

Beregning av akseptabel fosfortilførsel til innsjøene Bjørkelangen, Skullerudsjøen og Rødnessjøen i Haldenvassdraget



**Hovedkontor**

Postboks 173, Kjelsås  
0411 Oslo  
Telefon (47) 22 18 51 00  
Telefax (47) 22 18 52 00  
Internet: www.niva.no

**Sørlandsavdelingen**

Televeien 3  
4879 Grimstad  
Telefon (47) 37 29 50 55  
Telefax (47) 37 04 45 13

**Østlandsavdelingen**

Sandvikaveien 41  
2312 Ottestad  
Telefon (47) 62 57 64 00  
Telefax (47) 62 57 66 53

**Vestlandsavdelingen**

Nordnesboder 5  
5005 Bergen  
Telefon (47) 55 30 22 50  
Telefax (47) 55 30 22 51

**Akvaplan-niva**

9296 Tromsø  
Telefon (47) 77 75 03 00  
Telefax (47) 77 75 03 01

Tittel Beregning av akseptabel fosfortilførsel til innsjøene Bjørkelangen, Skullerudsjøen og Rødnessjøen i Haldenvassdraget	Løpenr. (for bestilling) 4557-2002	Dato 11/7-02
	Prosjektnr. Undernr. O-21251	Sider Pris 11
Forfatter(e)  Dag Berge	Fagområde Hydrologi	Distribusjon Fri
	Geografisk område Akershus/Østfold	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Østfold Fylkeskommune	Oppdragsreferanse Torodd Hauger
---	------------------------------------

**Sammendrag**

Innsjøene, Bjørkelangen, Skullerudsjøen og Rødnessjøen i Haldenvassdraget er alle betydelig eutrofierte som følge av for store fosfortilførsler. I forhold til SFTs vannkvalitetskriterier hvor vannkvalitet klassifiseres etter en skala fra 1-5, ligger de 2 førstnevnte innsjøer i nest dårligste vannkvalitetsklasse (Klasse IV: Dårlig), mens Rødnessjøen ligger i vannkvalitetsklasse III: "Mindre god".

Beregning av øvre grense for akseptabel fosforbelastning etter metodikk gitt i SFTs veiledere "Miljømål for vannforekomstene" gav 2860 kg P/år, 5470 kg P/år og 5560 kg P/år for hhv. Bjørkelangen, Skullerudsjøen og Rødnessjøen. Bringes de eksterne fosfortilførsler ned i disse nivåer vil det bli stabilt god vannkvalitet i innsjøene. Innsjøene ligger imidlertid i et eutrofi-nivå som ikke er høyere enn at enhver reduksjon i fosforbelastningen vil hjelpe. Det vil si at innsjøene er ikke hypereutrofe.

Fire norske emneord 1. Modellberegning 2. Akseptabel fosforbelastning 3. Eutrofiering 4. Haldenvassdraget	Fire engelske emneord 1. Model simulation 2. Acceptable phosphorus loading 3. Eutrophication 4. The Halden Watercourse
---	--

  
 Dag Berge  
 Prosjektleder

  
 Dag Berge  
 Forskningsleder

  
 Nils Roar Sælthun  
 Forskningssjef

Norsk Institutt for Vannforskning  
Oslo

Beregning av akseptabel fosfortilførsel til innsjøene  
**Bjørkelangen, Skullerudsjøen og Rødnessjøen**  
i Haldenvassdraget

Oslo 11/7-02

---

Saksbehandler: Dag Berge

## ***Forord***

*Den foreliggende rapport gir en teoretisk beregning av øvre grense for akseptabel fosforbelastning i innsjøene Bjørkelangen, Skullerudsjøen og Rødnessjøen i Haldenvassdraget. Oppdragsgiver er Østfold fylkeskommune ved Torodd Hauger. Tilsagn til programmet ble gitt den 13.mai 02. Arbeidet er basert på SFTs Vegledere "Miljømål for vannforekomstene", tilsendt materiale fra Østfold fylkeskommune, materiale fra NIVA og fra ANØ.*

*Beregningene er foretatt, og rapporten er skrevet, av Dag Berge NIVA. Ovennevnte institusjoner takkes for godt samarbeide og for å stille data-materiale til disposisjon.*

*Oslo, 11. juli 2002*

*Dag Berge*

---

# **Innhold**

<b>Konkluderende sammendrag</b>	<b>5</b>
<b>1. Innledning</b>	<b>6</b>
<b>2. Morfometriske og hydrologiske data</b>	<b>7</b>
<b>3. Kort om dagens vannkvalitet i innsjøene</b>	<b>10</b>
<b>4. Akseptabel fosforkonsentrasjon</b>	<b>12</b>
<b>5. Akseptabel fosfortilførsel</b>	<b>13</b>
<b>6. Diskusjon</b>	<b>13</b>
<b>7. Litteraturreferanser</b>	<b>15</b>

---

## Konkluderende sammendrag

Innsjøene, Bjørkelangen, Skullerudsjøen og Rødnessjøen i Haldenvassdraget er alle betydelig eutrofierte som følge av for store fosfortilførsler. I forhold til SFTs vannkvalitetskriterier hvor vannkvalitet klassifiseres etter en skala fra 1-5, ligger de 2 førstnevnte innsjøer i nest dårligste vannkvalitetsklasse (Klasse IV: Dårlig), mens Rødnessjøen ligger i vannkvalitetsklasse III: "Mindre god".

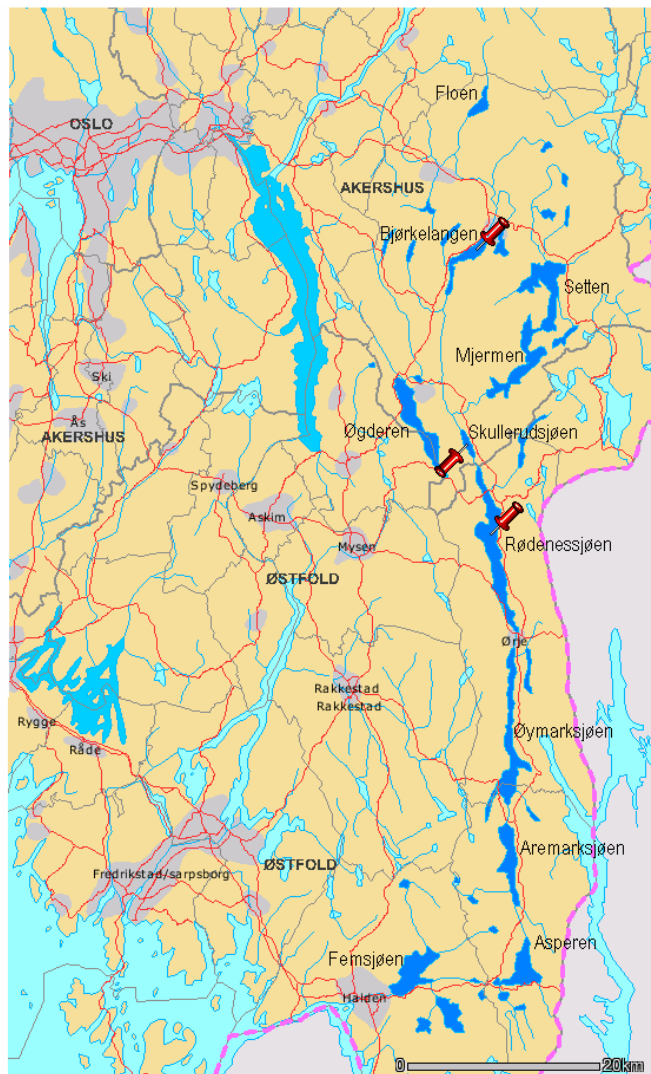
Beregning av øvre grense for akseptabel fosforbelastning etter metodikk gitt i SFTs vegledere "Miljømål for vannforekomstene" gav 2860 kg P/år, 5470 kg P/år og 5560 kg P/år for hhv. Bjørkelangen, Skullerudsjøen og Rødnessjøen. Bringes de eksterne fosfortilførsler ned i disse nivåer vil det bli stabilt god vannkvalitet i innsjøene. Innsjøene ligger imidlertid i et eutrofi-nivå som ikke er høyere enn at enhver reduksjon i fosforbelastningen vil hjelpe. Det vil si at innsjøene er ikke hypereutrofe.

# 1. Innledning

I forbindelse med utarbeidelse av tiltaksplan for innsjøene i Haldenvassdraget ble NIVA bedt om å gjøre beregninger og vurderinger omkring fastsettelse av øvre grense for akseptabel fosforbelastning i følgende 3 innsjøer:

- Bjørkelangen
- Skullerudsjøen
- Rødnessjøen

Innsjøenes beliggenhet er vis på figur 1.1.



**Figur 1.1.** Haldenvassdraget med angivelse (tegnestift) av de tre innsjøene som inngår i undersøkelsen.

Beregningene er gjort etter metode gitt i SFTs veiledere for Miljøsmål for vannforekomstene (Veileder 95:01 *Sammenhenger mellom utslipp og virkning*, og Veileder 97:04 *Klassifisering av miljøkvalitet i*

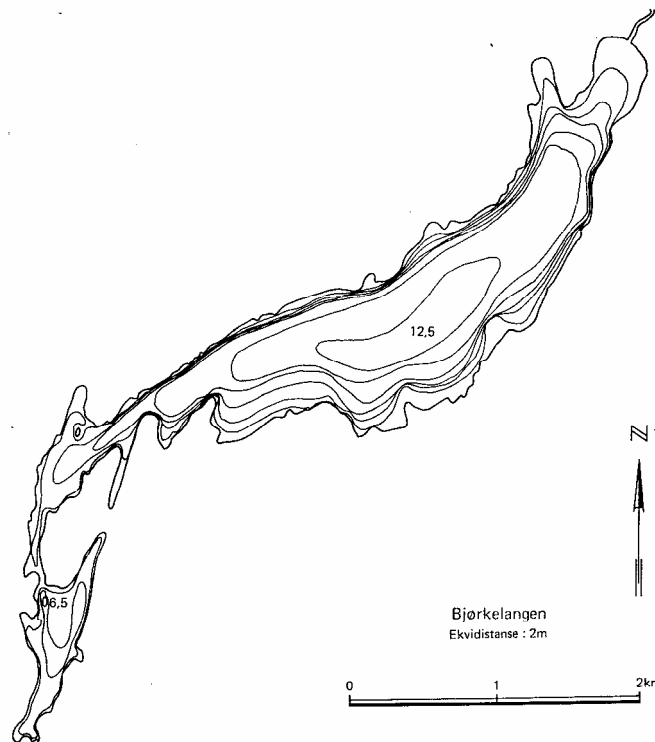
*Ferskvann*). Dataene som har ligget til grunn er dels sendt over fra Østfold Fylkeskommune som Excel filer, dels hentet fra NIVA-rapporter og dels fra ANØ-rapporter.

## 2. Morfometriske og hydrologiske data

Morfometriske og hydrologiske data for Bjørkelangen er gitt i tabell 2.1, mens dybdekart er gitt i figur 2.1.

**Tabell 2.1.** Morfometriske og hydrologiske data for Bjørkelangen (Skulberg og Kotai 1982)

Parameter	Benevning	Verdi
Overflateareal	km <sup>2</sup>	3,3
Største lengde	km	5
Største bredde	km	1
Volum	x 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	25
Middeldyp	m	7
Sørste dyp	m	12
Reguleringshøyde	m	1,36
Nedbørfelt	km <sup>2</sup>	278
Spesifikk avrenning	l/s x år	15,3
Årlig avløp	10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	124
Teoretisk oppholdstid	år	0,2



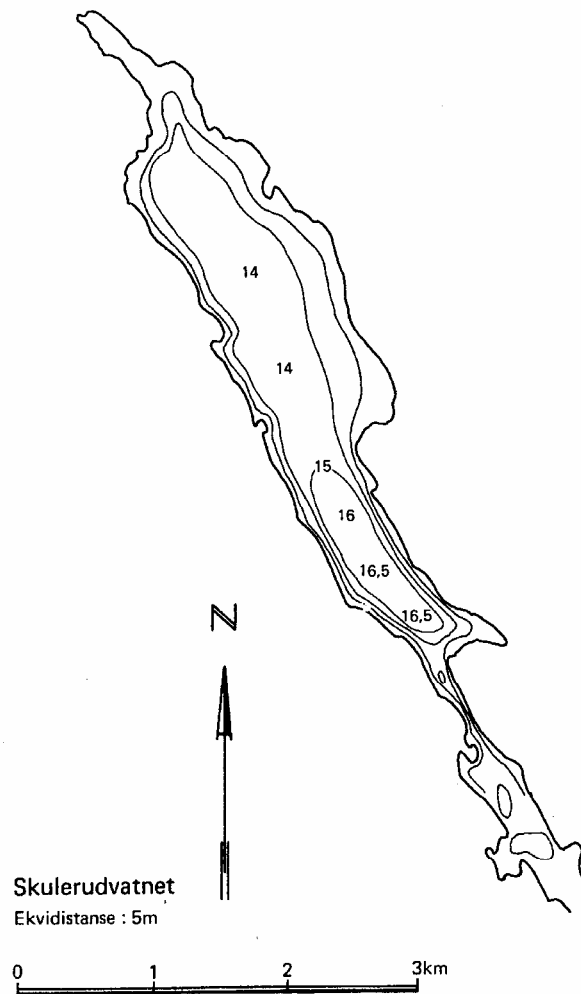
**Figur 2.1.** Dybdekart over Bjørkelangen (etter Skulberg og Kotai 1982)



Morfometriske og hydrologiske data for Skullerudsjøen er gitt i tabell 2.2 og figur 2.2.

**Tabell 2.2.** Morfometriske og hydrologiske data for Skullerudsjøen (Skulberg og Kotai 1982)

Parameter	Benevning	Verdi
Overflateareal	km <sup>2</sup>	1,7
Største lengde	km	4
Største bredde	km	0,75
Volum	x 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	18
Middeldyp	m	10
Sørste dyp	m	17
Reguleringshøyde	m	0
Nedbørfelt	km <sup>2</sup>	
Spesifikk avrenning	l/s x år	
Årlig avløp	10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	385
Teoretisk oppholdstid	år	0,05

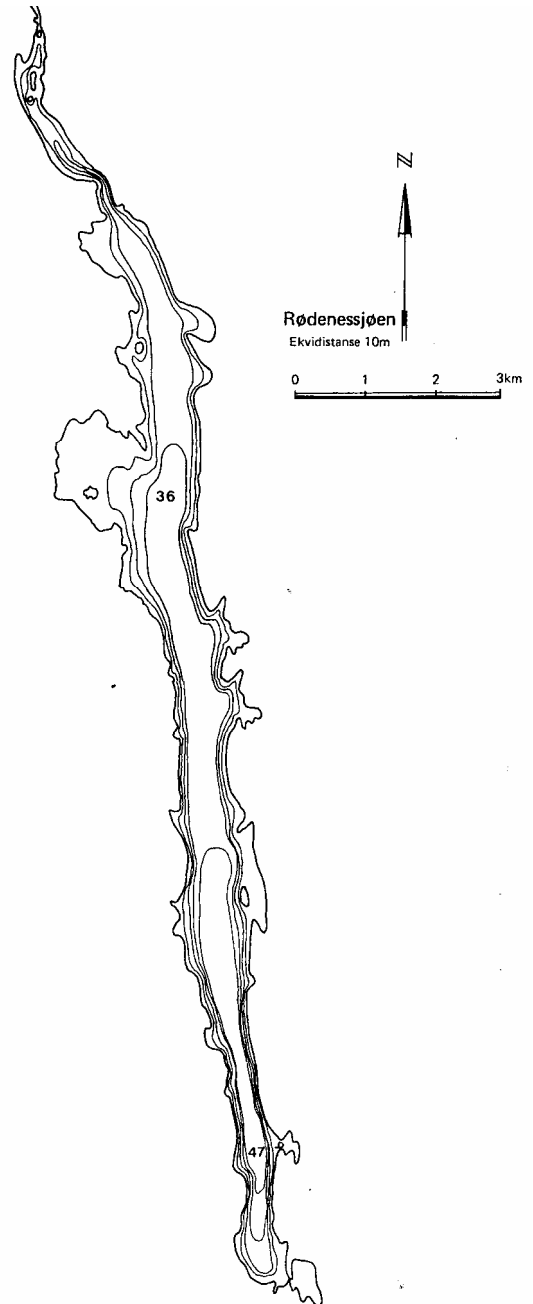


**Figur 2.2.** Dybdekart over Skullerudsjøen (etter Skulberg og Kotai 1982)

Morfometriske og hydrologiske data for Rødnessjøen er gitt i tabell 2.3 og figur 2.3.

**Tabell 2.3.** Morfometriske og hydrologiske data for Rødnessjøen (Skulberg og Kotai 1982)

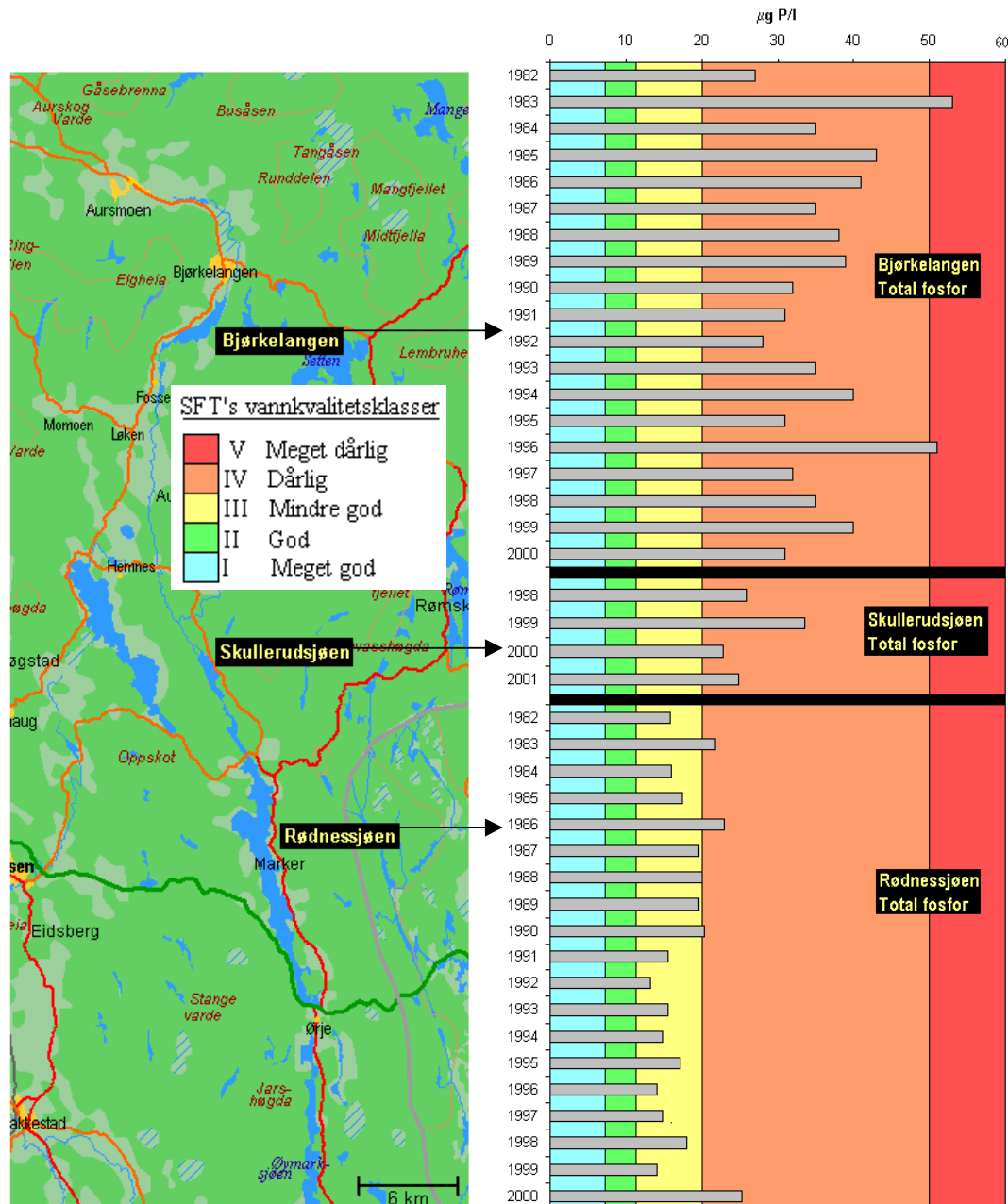
Parameter	Benevning	Verd i
Overflateareal	km <sup>2</sup>	15,3
Største lengde	km	18
Største bredde	km	2
Volum	$\times 10^6 \text{ m}^3$	312
Middeldyp	m	20,4
Sørste dyp	m	47
Reguleringshøyde	m	0,9
Nedbørfelt	km <sup>2</sup>	1029
Spesifikk avrenning	l/s x år	
Årlig avløp	$10^6 \text{ m}^3$	477
Teoretisk oppholdstid	år	0,7



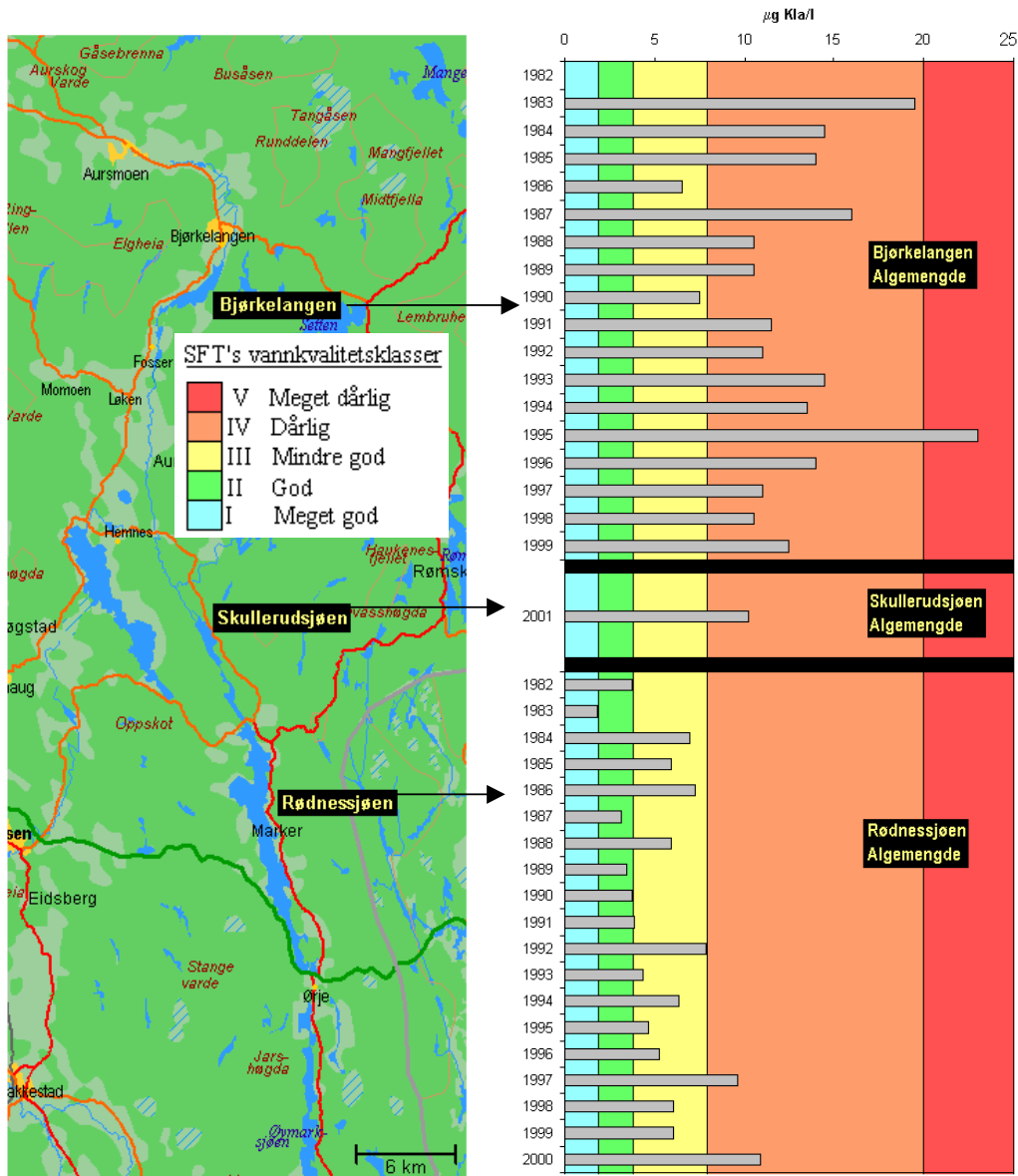
**Figur 2.3.** Dybdekart over Rødnessjøen (etter Skulberg og Kotai 1982).

### 3. Kort om dagens vannkvalitet i innsjøene

Alle tre innsjøene er betydelig påvirket av eutrofiering (overgjødsling), noe som klart fremgår av figur 3.1 og 3.2 som henholdsvis fremstiller konsentrasjon av total fosfor og algemengde i innsjøene.



**Figur 3.1.** Midlere konsentrasjon av total fosfor i de tre innsjøene sett i forhold til SFTs vannkvalitetskriterier. Data fra Skullerudsjøen er fra ANØ (Høberg 2002), mens fra de 2 andre innsjøer er fra excel-filer oversendt fra Østfold fylkeskommune.



**Figur 3.2.** Midlere algemengde (Kla) i de tre innsjøene sett i forhold til SFTs vannkvalitetskriterier. Data fra Skullerudsjøen er fra ANØ (Høberg 2002), mens fra de 2 andre innsjøer er fra excel-filer oversendt fra Østfold fylkeskommune.

Bjørkelangen ligger stabilt i nest dårligste vannkvalitet ("Dårlig"), med enkelte år i dårligste klasse ("Meget dårlig"). Skullerudsjøen ligger også i nest dårligste vannkvalitetsklasse, men muligens noe bedre enn Bjørkelangen. Det er imidlertid få kvantitative dataserier fra Skullerudsjøen. Rødnessjøen har noe bedre vannkvalitet og ligger for det meste i vannkvalitetsklasse III ("Mindre god").

Alle innsjøene har periodevis oppblomstringer av blågrønnalger, samt at Bjørkelangen og Skullerudsjøen periodevis kan ha lite oksygen i dypvannet (Skulberg og Kotai 1990). Det er ikke mulig å spore noen trend i utviklingen av vannkvaliteten i de tre innsjøene.

Årsaken til eutrofieringen er utvilsomt for høye tilførsler av fosfor fra den menneskelige aktiviteten i nedbørfeltet.

## 4. Akseptabel fosforkonsentrasjon

Grunne sjøer kan inneholde noe høyere fosforkonsentrasjon enn dype innsjøer uten at det oppstår økologiske problemer (OECD 1982, Berge 1987). Dype norske innsjøer ofte har en fosforkonsentrasjon fra naturens side på 2-6 µgP/l, kfr SFT-Veiledning 92:06 (Holtan 1992). Rognerud og medarbeidere (1979) fant at om man kunne holde dype norske innsjøer under en midlere fosforkonsentrasjon på 7 µg P/l, så var man sikker på ha gode forhold i innsjøen. Kom man over 11 µgP/l var det rimelig sikkert at det begynte å oppstå problemer. De kalte 7 µg P/l grense for akseptabel fosforkonsentrasjon i dype innsjøer. SFT har i sin vegleder (97:04) Klassifisering av miljøkvalitet i ferskvann, adoptert disse 2 grensene som grense for hhv. "meget god vannkvalitet" ( $[P] < 7$ ) og "god vannkvalitet" ( $7 < [P] < 11$ ).

Begrunnelsen for at grunne sjøer kan tolerere høyere fosforkonsentrasjon har trolig å gjøre med at produksjonssjiktet (overflatelagene) her står i kontakt med sedimentene, og den effektive regenereringen av næring som skjer i sedimentoverflaten. I dype sjøer står produksjonssjiktet i kontakt med temperatursprangsjiktet som ligger på toppen av et stort dyplag (hypolimnion). Hypolimnion virker som en næringsfelle. I grunne sjøer skjer det er mer effektiv og vel-balansert regenerering av næringssalter enn i dype sjøer der det lett oppstår skjev nærings saltbalanse som følge av sedimentering gjennom termoklinen og tap til hypolimnion, og dermed liten regenerering under vekstsesongen. Her vil det kunne oppstå problemer med for eksempel blågrønnalger ved en lavere fosforkonsentrasjon enn i grunne sjøer (kfr OECD 1982).

Berge (1987) fant at 7 µg P/l var en passende grense for akseptabel fosforkonsentrasjon for innsjøer med middeldyp 15 m eller mer. Ble innsjøene grunnere så de ut til å tåle høyere fosforkonsentrasjoner uten å få problemer. Han satte opp i et diagram hvor aksene var hhv. middeldyp og fosforkonsentrasjon, innsjøer som hadde problemer og innsjøer som ikke hadde problemer, og fant at skillet mellom dem kunne beskrives av den krumme linjen

$$[P]_{\lambda} = -8,68 * \ln \bar{z} + 30,13 \text{ der}$$

$[P]_{\lambda}$  = midlere fosforkonsentrasjon i innsjøen

og  $\bar{z}$  = innsjøens middeldyp

Innsjøer med middeldyp på 1,5 m tålte en midlere fosforkonsentrasjon på omlag 25 µg P/l, mens en innsjø med middeldyp 15 m tålte en fosforkonsentrasjon på omlag 7 µg P/l. Innsjøer med middeldyp mellom disse grensene vil altså ha grense for akseptabel fosforkonsentrasjon som er avhengig av middeldypet. Man kan mao. ikke bruke en fast verdi som basis når man skal lage en tiltaksplan for slike innsjøer. Mens dype norske innsjøer oftest har en fosforkonsentrasjon fra naturens side på 3-5 µgP/l, kan man ha et spekter av naturlige fosforkonsentrasjoner i grunne sjøer. I mange innsjøer i rike løsavsetninger i jordbruksdistrikter, er det umulig å nå beste vannkvalitetsklasse på 7 µgP/l. Flere innsjøer i slike omgivelser har en naturlig bakgrunnskonsentrasjon som har ligget opp mot 12-15 µg P/l. Men alle innsjøer kan tilbakeføres til en tilstand der de mister sitt forurensede preg. Da fosforkonsentrasjonen i innsjøen er en funksjon av tilførslene, er første ledd å finne den akseptable

fosforkonsentrasjonen. Formelapparatet fra Berge (1987) er tatt inn i SFTs vegleder for beregning av avlastningsbehov (SFT-Veileder 95:01).

Øvre grense for akseptabel fosforkonsentrasjon i de 3 innsjøene er gitt i tabell..

**Tabell 4.1.** Øvre grense for akseptabel fosforkonsentrasjon i innsjøene

Innsjø	benevning	Øvre grense for akseptabel fosforkonsentrasjon
Bjørkelangen	µg P/l	13
Skullerudsjøen	µg P/l	10
Rødnessjøen	µg P/l	7

Ser man disse konsentrasjonene i forhold til SFTs klassifiseringssystem tillates altså Bjørkelangen å være i nedre del av vannkvalitetsklasse III (mindre god), Skullerudsjøen i vannkvalitetsklasse II (god), mens Rødnessjøen bør holdes i vannkvalitetsklasse I (meget god).

## 5. Akseptabel fosfortilførsel

I SFTs veileder (95:01) benyttes RBJ modellen (Rognerud et al 1979) for dype sjøer og FOSRES-modellen (Berge 1987) for grunne og middels grunne innsjøer, når det gjelder å regne ut sammenhengene mellom utslipp og virkning. Ved å sette inn akseptabel fosforkonsentrasjon funnet i forrige avsnitt i formelapparatet, fremkommer øvre grense for akseptabel fosfortilførsel til de aktuelle innsjøene. Grensen mellom grunne og dype innsjøer går ved middeldyp på ca 15 m (Berge 1987). Samme grense er nylig adoptert av EUs vanddirektiv som også blir gjort gjeldende for Norge. Beregningene i Rødnessjøen blir således utført etter RBJ-modellen, mens i Skullerudsjøen og Bjørkelangen blir de utført ved hjelp av FOSRES-modellen. Resultatene er gitt i tabell 5.1.

**Tabell 5.1.** Øvre grense for akseptabel fosfortilførsel i innsjøene

Innsjø	Benevning	Øvre grense for akseptabel fosfortilførsel
Bjørkelangen	kg P/år	2860
Skullerudsjøen	kg P/år	5470
Rødnessjøen	kg P/år	5560

## 6. Diskusjon

Det er i denne rapporten ikke gjort noe forsøk på å se hvordan den akseptable fosforbelastningen ligger an i forhold til dagens aktuelle P-belastning. Vi er klar over at den aktuelle P-belastningen ligger betydelig høyere enn de akseptable verdiene som er anført her, noe som bl.a. ses tydelig fra sammenstillingen av vannkvalitetsdata. Det kan bemerkes at i det erfaringsbaserte diagrammet som ligger til grunn for formelen som brukes til å beregne akseptabel P-konsentrasjon, er det ikke en veldefinert linje som skiller innsjøene med forurensningsproblemer fra innsjøene uten problemer. I virkeligheten er det et belte av en viss bredde. Kurven som beskrives av formelen i kapittel 4 er

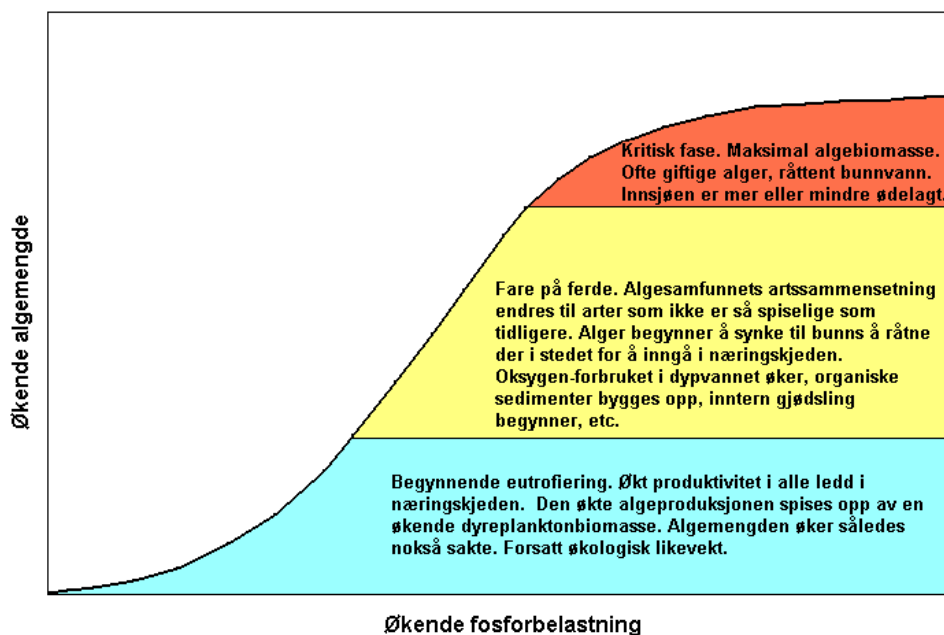
trukket i nedkant av dette beltet. Det er altså tatt inn en viss sikkerhetsmargin her. Holder man P-belastningen på eller under det beregnede akseptable nivået, vil man være rimelig sikker på at ikke innsjøene vil ha, eller få, eutrofieringsproblemer.

For en del innsjøer er den menneskelige aktiviteten i nedbørfeltene så stor at det er praktisk vanskelig å nå ned i "akseptabel" fosforbelastning, mens for andre innsjøer igjen kan man ha mye å gå på, det vil si man har gjenværende resipientkapasitet. I førstnevnte kategori kan det være vanskelig å sette et realistisk mål for en tiltaksplan.

Som nevnt er det gitt en viss sikkerhetsmargin i våre utregnede verdier for akseptabel P-belastning, noe som betyr at man kan gå litt over disse grenser uten at varige skader oppstår på innsjøene. Noe mer enn 10% høyere bør man ikke sikte etter som belastningsmål, og tillater man 20% høyere vil man år om annet oppleve problemer som blågrønnalgeoppblomstringer og/eller oksygenvinn, intern gjødsling, etc.

Det kunne vært fristende å sette inn i formelapparatet den midlere fosforkonsentrasjonen fra overvåkingen og derigjennom fått fram dagens fosforbelastning. Ved subtraksjon kunne man da fått fram avlastningsbehovet. Dette er imidlertid farlig i eutrofierte innsjøer, da belastningstallet man får også omfatter intern gjødsling. Omfanget av intern gjødsling er vanskelig å anslå. I Rødnessjøen og delvis i Skullerudsjøen kunne en slik betraktning gi verdifull informasjon, mens i Bjørkelangen ville slik beregning av aktuelle P-belastning resultere i en betydelig overestimering. Den sikreste måten å beregne avlastningsbehovet på er via et tilførselsbudsjett, der man måler inntransporten i de viktigste tilløpselvene og gjør kvalifiserte estimater over tilførsler fra tilleggfeltene. Trekker man den akseptable belastningen fra totaltilførselen i tilførselsbudsjettet, fremkommer avlastningsbehovet.

Det er betydelig fosfor-avlastning som må til. Anslagsvis må tilførslene halveres, uten at dette kan sies sikkert før man har fremskaffet et godt anslag over aktuelle tilførsler. Hvis man vurderer innsjøene i forhold til et generelt eutrofierings-forløp, ligger innsjøene i det bratte feltet i figur 6.1. Det vil si at enhver reduksjon av P-tilførslene vil bedre vannkvaliteten.



**Figur 6.1.** Generelt eutrofierings-forløp i innsjøer etter Berge (2000). Bjørkelangen, Skullerudsjøen og Rødnessjøen ligger i øvre del av det gule feltet.

## 7. Litteraturreferanser

- Berge, D. 1987: Fosforbelastning og respons i grunne og middels grunne innsjøer. Hvordan man bestemmer akseptabelt trofinivå og akseptabel fosforbelastning i sjøer med middeldyp 1,5 - 15 m., NIVA-rapport Lnr 2001: 44 sider.
- Berge, D. 2000: Vassdragsøkologi, Miljøeffekter, erosjon og Avbøtende tiltak. Kompendium utarbeidet for Labro-skolen, Kongsberg, 61 sider.
- Høberg, P. 2002: Resipientovervåking 2002. Aurskog-Høland kommune. ANØ-rapport nr 38/02, 24 sider.
- Johansen, S., og M. Grande 1994: Endringer i manøvreringsreglement for Bjørkelangen, Fosser Dam. Konsekvensvurdering for virkning på vannkvalitet og biologiske forhold., NIVA-rapport Lnr. 3089: 21 sider.
- OECD 1982: Eutrophication of waters: Monitoring, assessment and control. OECD Eutrophication Programme, Final report., Paris, France, 155 sider.
- Rognerud, S., D. Berge og M. Johannessen 1979: Telemarksvassdraget - Hovedrapport fra undersøkelsene i perioden 1975-1979., NIVA-rapport, Lnr 1147, 82 sider.
- SFT 1992 (Holtan H 1992): Klassifisering av miljøkvalitet i ferskvann. SFT-veiledning 92:06, SFT-rapport TA-nr 905/1992, 32 sider.
- SFT 1997 (Jon Lasse Bratli): Miljømål for vannforekomstene - sammenhenger mellom utslipp og virkning, SFT-veiledning 95:01, SFT-rapport TA-nr 1138/1995, 50 sider.
- SFT 1997 a(J.R. Andersen m. fl.): Klassifisering av miljøkvalitet i ferskvann., SFT-veileder 97:04, SFT-rapport TA-nr 1468/1997, 31 sider.
- Skulberg, O., og J. Kotai 1982 a: Overvåking av Haldenvassdraget 1981, Akerhus og Østfold. NIVA-rapport Lnr 1428: 37 sider.
- Skulberg, O., og J. Kotai 1982: Haldenvassdraget - vannkvalitet og forurensningsvirkninger. Resultater av vassdragsundersøkelser for Haldenvassdragets Vassdragsforbund 1975-1981. NIVA-rapport Lnr. 1367.: 179 sider.
- Skulberg, O., og J. Kotai 1990: Giftproduserende blågrønnalger i Haldenvassdraget. Observasjoner utført i 1989., NIVA-rapport Lnr F-528, 32 sider.
- Østfold fylkeskommune 2002: Diverse Excel filer med data fra de aktuelle sjøene i Haldenvassdraget.