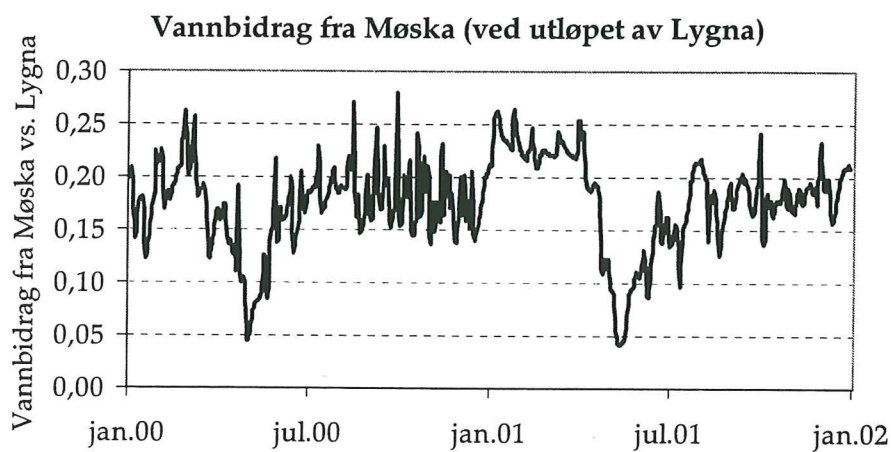


NIVA



RAPPORT LNR 4593-2002

Betydning av det sure sidevassdraget Møska for vannkjemi i nedre del av lakseelven Lygna



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 Betydning av det sure sidevassdraget Møska for vannkjemi i nedre del av lakseelven Lygna <i>(Influences of the acidified tributary Møska on water chemistry in the Lygna salmon river)</i>	Løpenr. (for bestilling) 4593-02	Dato November 2002
	Prosjektnr. Undernr. O-21828	Sider Pris 24
Forfatter(e) Kaste, Øyvind Kroglund, Frode Høgberget, Rolf	Fagområde Forskning	Distribusjon Fri
	Geografisk område Vest-Agder	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Direktoratet for naturforvaltning	Oppdragsreferanse Steinar Sandøy
---	-------------------------------------

Sammendrag

For å få bedre oversikt over det sure sidevassdraget Møskas betydning for fiskens vannkjemiske levetilstand i nedre del av Lygna er det gjennomført en enkel hydrologisk og kjemisk kartlegging for å dokumentere blandingsforholdet mellom de to vassdragsgrenene. Målingene som er foretatt i Lygna nedstrøms innløpet av det sure sidevassdraget Møska viser tidvis en klar effekt på vannkjemien i blandsonen, men at det var store forskjeller mellom prøvetakingsdatoene og de ulike prøvetakingspunktene i elva. De målte kalsiumkonsentrasjonene nedenfor samløpet tyder på at vannet fra Møska ikke var fullstendig blandet inn hovedelva ved utløpet til sjøen, ca. 1 km nedenfor blandingspunktet. Vannkvalitetene i blandsonen ble vurdert som potensielt skadelige for laks ved to av fire prøvetakingsdatoer. På grunn av stor dag-til-dag variasjon, vil vannkvaliteten i det aktuelle området trolig kunne påvirke fangstutviklingen, men ikke forhindre reetablering av laks i vassdraget. Det er foreslått noe faglig oppfølging av undersøkelsen og antydning mulige tiltak for å redusere/eliminere potensielle vannkvalitetsproblemer i blandsonen.

Fire norske emneord 1. Vassdrag 2. Vannkjemi 3. Hydrologi 4. Forsuring	Fire engelske emneord 1. Watercourse 2. Water chemistry 3. Hydrology 4. Acidification
--	---


Øyvind Kaste
Prosjektleder


Brit Lisa Skjellkvåle
Forskningsleder
ISBN 82-577-4253-8


Jens Skei
Forskningsdirektør

Betydning av det sure sidevassdraget Møska for vannkjemi i nedre del av lakseelven Lygna

Forord

På grunn av lengre tids usikkerhet knyttet til betydningen av det sure sidevassdraget Møska for vannkjemi og overlevelse av laks i de nedre delene av det kalkede Lygnavassdraget, tok NIVA den 6.2.02 initiativ til et prosjekt for å dokumentere blandingsforholdet mellom de to vassdragsgrenene. I det opprinnelige prosjektforslaget var det lagt opp til både vannkjemiske undersøkelser og burforsøk med laksesmolt. Direktoratet for naturforvaltning (DN) var positive til prosjektet, og bevilget den 16.4.02 penger til den vannkjemiske delen. Denne rapporten oppsummerer resultatene fra undersøkelsen, som ble gjennomført i perioden 24.4-4.6 2002.

Feltarbeidet ble gjennomført av Rolf Høgberget (NIVA) og Asbjørn Vidringsatd (innleid lokalt). Alle kjemiske analyser er foretatt ved NIVAs laboratorium i Oslo.

Vår kontaktperson i DN har vært Steinar Sandøy.

Grimstad, november 2002

Øyvind Kaste

Innhold

Sammendrag	5
Summary	6
1. Innledning	7
1.1 Bakgrunn og formål	7
1.2 Områdebeskrivelse	7
1.3 Materiale og metoder	9
2. Resultater	11
2.1 Fysiske forhold	11
2.2 Kjemiske forhold	13
2.3 Mulige effekter på fisk	17
3. Samlet vurdering	19
3.1 Status for vannkjemisk påvirkning	19
3.2 Vurdering av potensielle effekter på fisk i blandsonen	19
3.3 Konklusjoner / anbefalinger	20
4. Referanser	21
Vedlegg A. Primærdata	22

Sammendrag

For å få bedre oversikt over det sure sidevassdraget Møskas betydning for fiskens vannkjemiske levetilstand i nedre del av Lygna er det gjennomført en enkel hydrologisk og kjemisk kartlegging for å dokumentere blandingsforholdet mellom de to vassdragsgrenene. Sannsynligheten for skadevirkninger av blandsoner på opp- og nedvandrende laks er vurdert på grunnlag av teoretiske betraktninger og erfaringer fra andre forsurrede laksevassdrag. Undersøkelsen har bestått av fire prøvetakingsrunder i perioden april-juni 2002, omkring den tiden da smolten vandrer ut i sjøen. Det ble etablert et rutenett av prøvepunkter bestående av 5 transekter (å 3 prøvepunkter) langs en 1 km lang strekning i nedre del av Lygna. Øverste transekt ble lagt like oppstrøms innløpet av Møska, mens det nederste ble lagt til selve elvemunningen.

Målingene som er foretatt i Lygna nedstrøms innløpet av det sure sidevassdraget Møska viser tidvis en klar effekt på vannkjemien i blandsonen, men at det var store forskjeller mellom de ulike prøvetakingspunktene i elva. Kalsiumkonsentrasjonen ble i enkelte tilfeller redusert med opptil 0.25 mg/L, mens pH kunne bli redusert med inntil 0.3-0.4 pH-enheter fra nivåer på pH 6.4-6.7 oppstrøms. Basert på teoretisk fortykning er det sannsynlig at vannet fra Møska ikke var fullstendig blandet inn i hele elveprofilen ved utløpet til sjøen, ca. 1 km nedenfor samløpet. Størst grad av innblanding forekom ved de høyeste vannføringsene. Alle prøvetakingsrundene våren 2002 ble foretatt ved lave til middels vannføringer, og med et relativt vannføringsbidrag fra Møska som lå noe under årsgjennomsnittet. Det er derfor sannsynlig at påvirkningen fra Møska på vannkvaliteten i Lygna i perioder av året kan være høyere enn det som er dokumentert gjennom denne undersøkelsen. De hydrologiske forholdene i løpet av undersøkelsen er likevel antatt å være relativt representative for denne tiden av året.

Sannsynligheten for giftig vann i blandsonen er basert på mengde labilt aluminium (LAl) som skal transformeres, pH i elva etter blanding (som er bestemmende for reaksjonshastigheten) og vannhastigheten som bestemmer den romlige utbredelsen av blandsonen. Vannkvalitetene ble vurdert som potensielt skadelige 7. mai og 4. juni, mens vannkvalitetene 24. april og 21. mai sannsynligvis ikke har påvirket laks i nevneverdig grad. Skadeomfang vil avhenge av flere faktorer, hvor eksponeringsvarighet og grad av vannkvalitetsforringelse er blant de viktigste. Forskjellig grad av innblanding innen transektene medfører at fisk kan påvirkes/ikke påvirkes, avhengig av hvor i elva den befinner seg. Det synes som om vannkvalitet inne det aktuelle elveavsnittet kan variere til dels betydelig fra dag til dag. Dette betyr at enkelte partier utvandrende smolt kan bli skadet, mens fisk som vandret noen dager før/etter vil være upåvirket. Denne variasjonen kan sannsynligvis også ha stor effekt på smoltoverlevelse fra et år til et annet. Vannkvaliteten i det aktuelle området vil således ikke kunne forhindre reetablering av laks, men vil kunne påvirke fangstutviklingen.

På basis av de nye resultatene fra samløpsområdet mellom Møska og Lygna anbefales (1) repetering av forsøket med fargestoffet Rhodamine-B som markør og (2) eksponeringsforsøk med fisk i blandsonen. For å redusere/eliminere potensielle vannkvalitetsproblemer i blandsonen, anbefales avsyring av Møska i smoltutvandringsperioden. For å sikre rask og permanent immobilisering av giftig aluminium (Al) kan det være aktuelt å bruke silikat som avsyrimiddel. Subsidiært kan det være aktuelt å overdosere ved den eksisterende Gysland-doseren basert på værprognoser. Det må for øvrig komme klarere frem at det endelige målområdet for kalkingen av Lygna er elvestrekningen mellom Møska og utløpet i fjorden. Nederste overvåkingsstasjon for vannkjemisk ligger per i dag ved Vegge, omlag 10 km fra utløpet.

Summary

Title: Influences of the acidified tributary Møska on water chemistry in the Lygna salmon river

Year: 2002

Author: Kaste, Ø., Kroglund, F. & Høgberget, R.

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: ISBN 82-577-4253-8

A simple chemical and hydrological investigation has been carried out in the lower parts of River Lygna, in order to study possible negative effects from an acidic tributary (Møska) on water quality for Atlantic salmon in the main river. Both physical and chemical data demonstrate that Møska occasionally has a significant negative effect on water chemistry downstream. However, there was a large variation in responses, both on a temporal- (between sampling dates) and a spatial (between sampling points) scale. Simultaneous measurements of calcium concentrations in Lygna and Møska indicate an incomplete mixing of the two water masses at the river mouth, which is located about 1 km downstream the tributary inlet. At two out of four sampling dates, the water quality within the mixing zone was considered as potentially harmful for Atlantic salmon. Due to large temporal variation, the water quality might affect the annual catches, but probably not the re-establishment of a local salmon population per se.

1. Innledning

1.1 Bakgrunn og formål

Lygna ble i perioden 1991-1999 kalket ved hjelp av én kalkdoserer plassert høyt oppe i vassdraget, oppstrøms innsjøen Lygne (**Figur 1**). Med denne kalkingsstrategien greide en ikke å unngå forsurede episoder på den lakseførende delen av elva under flomforhold (DN, 2000). Dette har sannsynligvis hemmet reetableringen av laks og kanskje også sjøaure i den perioden kalkingen har pågått. Etter etableringen av ny, pH-styrt doserer ved Gysland, like oppstrøms den lakseførende strekningen i 2000, ligger imidlertid forholdene til rette for presis dosering i forhold til vedtatte vannkvalitetsmål. Selv med det nye doseringsanlegget gjenstår det imidlertid et par trusselfaktorer som potensielt kan redusere måloppnåelsen i elva. Dette er de sure sidevassdragene Litleåna (delvis kalket) og Møska (ukalket). Av disse to sidevassdragene er det Møska som er det største og sureste, og som dermed kan representere den største trusselen. Møska renner inn i Lygna like før utløpet i Lyngdalsfjorden.

Når surt vann med aluminium (Al) blandes med vann med høyere pH skapes en "blandson" eller et område karakterisert med pågående transformasjon av Al (Rosseland *et al.*, 1992). I disse områdene transformeres labilt aluminium (LAl) fra å foreligge på giftige former (for fisk) i den sure vannkilden, til enda giftige tilstandsformer umiddelbart etter blanding. Deretter avtar giftigheten som følge av polymerisering og etablering av nye tilstandsformer av Al som ikke lenger er giftige. Hvor raskt Al avgiftes er avhengig av pH og temperatur. Avgifting oppnås raskt ved pH 6.4 (som er identisk med målet for kalkingen av Lygna i den aktuelle perioden), men betydelig senere ved f.eks. pH 6.0. Hvor stort volum av elva som påvirkes av en giftig blandson vil således være avhengig av pH samt vannhastigheten på det aktuelle stedet.

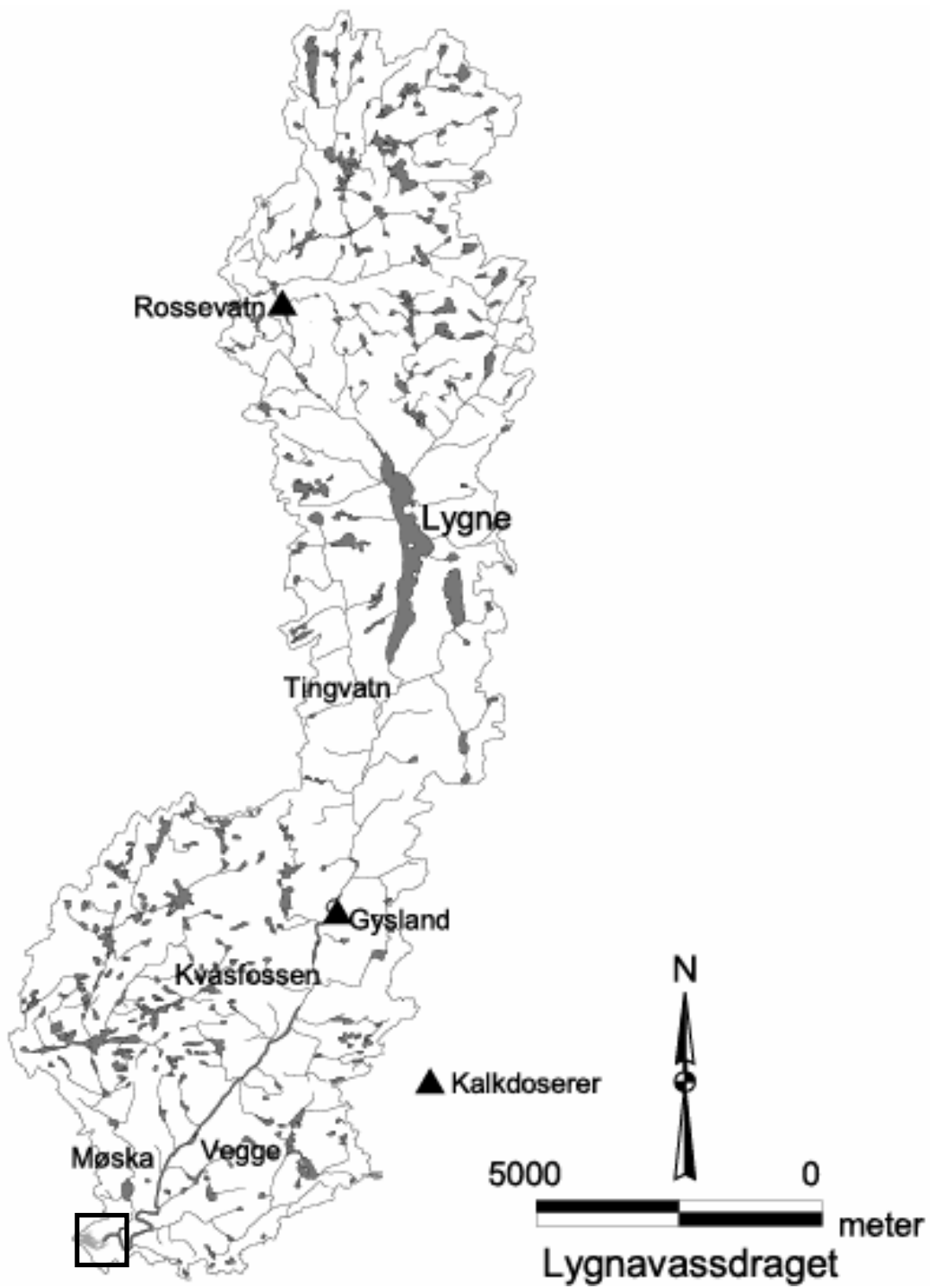
For å få bedre oversikt over Møskas betydning for fiskens vannkjemiske levetilstander i nedre del av Lygna er det gjennomført en enkel hydrologisk og kjemisk vurdering, hvor innblandingen av det sure vannet fra Møska kartlegges under ulike vannføringer. Sannsynligheten for skadevirkninger av blandsoner på opp- og nedvandrende laks er vurdert på grunnlag av teoretiske betraktninger og erfaringer fra andre forsurrede laksevassdrag.

1.2 Områdebeskrivelse

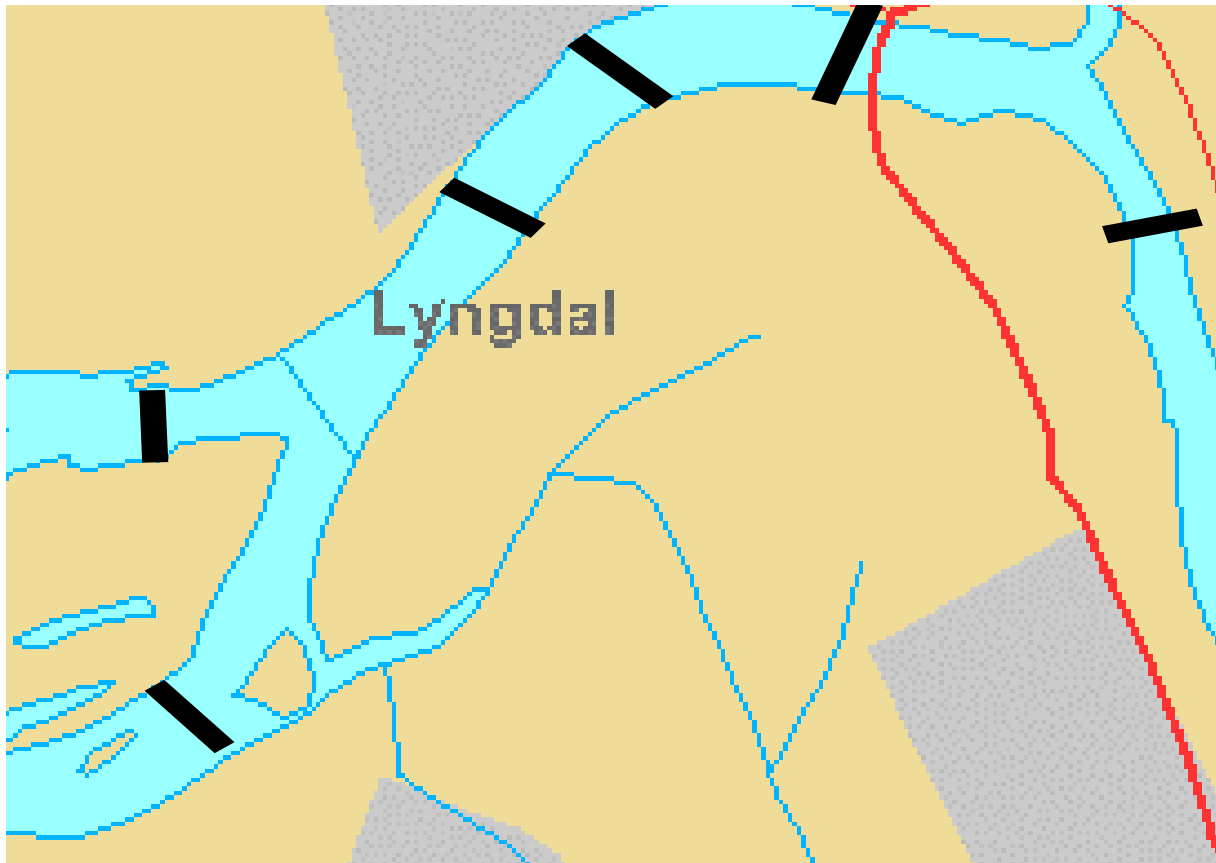
Lygnavassdraget er et fjell-til-fjord vassdrag lokalisert i Vest-Agder, mellom Audnavassdraget i øst og Kvinavassdraget i vest (**Figur 1**). Hydrologiske nøkkeldata for vassdraget er vist i **Tabell 1**. Sidevassdraget Møska er ca 122 km², og renner inn i Lygna like før elva munner ut i Lyngdalsfjorden. Anadrom fisk kan gå omlag 20 km opp i vassdraget, til Kvåsfossen. Middelvannføringen i Lygna ved utløpet til sjøen er omlag 35 m³/s.

Tabell 1. Hydrologiske nøkkeldata for Lygnavassdraget.

	Areal, km ²	Tilsg, mill m ³ /år
Lygna v. Gysland-doserer	381.0	668
Lygna v. innløp Møska	539.2	910
Møska v. NVE-stasj	120.9	191
Møska v. utløp	122.1	193
Lygna v. utløp sjøen	663.7	1106



Figur 1. Lygnavassdraget med nedbørfelt. Firkanten markerer området illustrert i Figur 2.

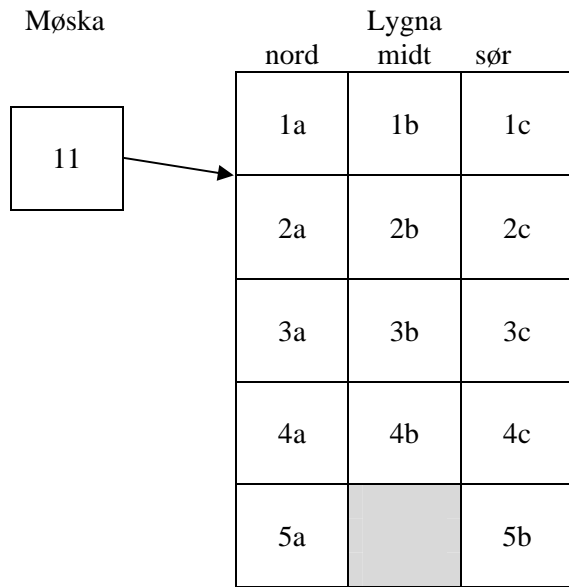


Figur 2. Plassering av prøvetakingstransekter. Det ble tatt tre prøver i hvert transekt, med unntak av det nederste transektet, hvor det ble tatt én prøve på hver side av øy/banke ut mot Lyngdalsfjorden. Prøvene ble tatt med jevn avstand innenfor hvert transekt (midten, nordre og søndre elvebredd).

1.3 Materiale og metoder

Det ble gjennomført fire prøvetakingsrunder i perioden april-juni 2002. Prøvetakingen ble lagt til den mest sentrale delen av smoltifiseringsperioden, fortrinnsvis ved ulike vannføringer. Det ble etablert et rutenett av prøvepunkter bestående av 5 transekter (å 3 prøvepunkter på 0.5 meters dyp) langs en 1 km lang strekning i nedre del av Lygna (250 m mellom hvert transekt) (se **Figur 2** og **Figur 3**). Koordinater for prøvepunktene er gitt i **Vedlegg A1**. Øverste transekt ble lagt like oppstrøms innløpet av Møska, mens det nederste ble lagt til selve elvemunningen. I tillegg ble det tatt en prøve i nedre del av Møska på hver av prøvetakingsdatoene. Transektprøvene ble analysert med hensyn til kalsium og pH, mens prøvene fra Møska ble også analysert mht full ionesammensetning (bla. for å kunne beregne syrenøytraliserende kapasitet – ANC) (**Vedlegg A2**). Alle vannprøver ble sendt til NIVAs laboratorium i Oslo for kjemisk analyse. I tillegg til kjemi ble det registrert vannhastighet ved hvert av prøvepunktene ved hjelp av GPS. Vanntemperatur ble registrert ved alle prøvetakingspunkter fom. den tredje prøvetakingsrunden

Prøvetakingsmetoden tillater ikke evaluering av hvordan vann reellt blandes i vassdraget. Til dette trengs en tredimensjonal hydrologisk modell. Kalsium, som er et relativt konservativt element i vann, er imidlertid brukt som en grov indikator på hvordan innblandingen fra Møska skjer.



Figur 3. Skjematisk oversikt over prøvetakingsstasjoner i nedre del av Lygnavassdraget

2. Resultater

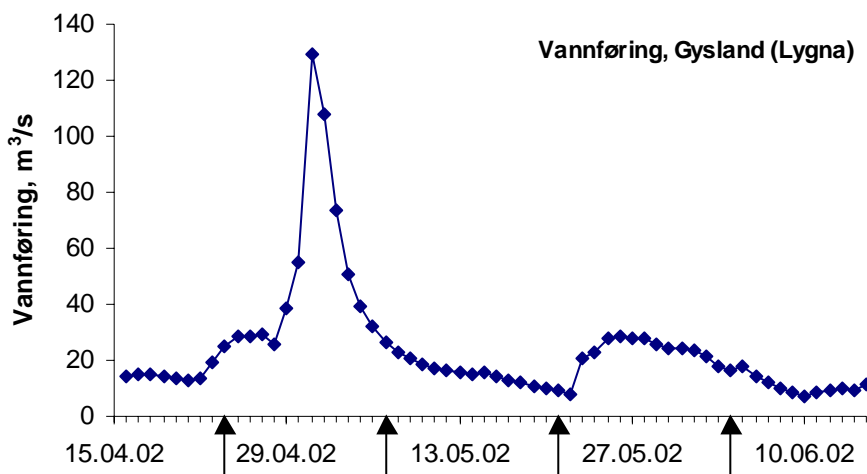
2.1 Fysiske forhold

Vannføring

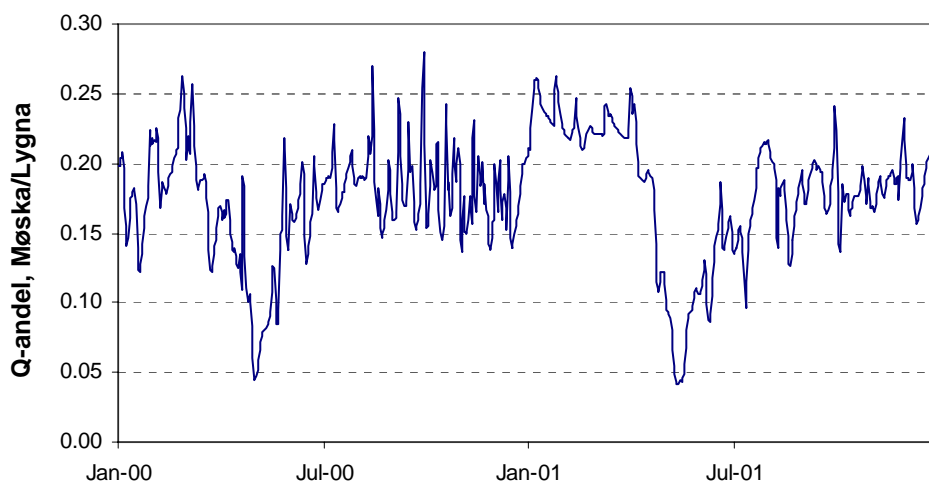
Alle prøvetakingsrundene ble gjennomført ved moderat til lav vannføring i begge vassdragsgrenene (**Tabell 2**). Prøverunde 1 og 2 ble gjennomført hhv. like før- og like etter en kortvarig flom med topp omkring 1. mai (**Figur 4**). Det estimerte bidraget fra Møska til vannføringen ved utløpet i fjorden varierte fra 6 til 16% ved de ulike prøvetakingstidspunktene. Dette er forholdsvis typisk for årstiden, men relativt lite i forhold blandingsforhold som kan forekomme i andre deler av året (**Figur 5**). I følge denne oversikten, som er basert på årene 2000 og 2001, er det vanlig at det relative vannføringsbidraget fra Møska er lite (5-15%) fra midten av april til utgangen av mai. Dette har sannsynligvis sammenheng med at hovedtyngden av snøsmeltingen kommer senere i Lygnavassdraget enn i Møska. Ellers i året ligger vannføringsbidraget fra Møska ofte omkring 15-20% (areal-forholdet mellom de to grenene er 18%), men med kortvarige topper opp mot 25-30%.

Tabell 2. Vannføring (Q) i Møska og Lygna på prøvetakingsdatoene. Dataene er basert på NVEs vannføringsstasjon i Møska (NVE, 2002) og vannføringslogg ved Gysland kalkdoserer. Tilsiget fra restfeltet nedstrøms Gysland er antatt å ha omlag samme tidsdynamikk som i Møska; vannføringsbidraget fra restfeltet er derfor estimert fra vannføring i Møska multiplisert med en tilsigsfaktor (1.27) som kan utledes fra **Tabell 1**.

	Lygna før Møska, m ³ /s	Møska, m ³ /s	Utløp sjøen, m ³ /s	Q-bidrag fra Møska
24/04/02	24.0	1.4	25.4	0.06
07/05/02	37.1	6.9	44.1	0.16
21/05/02	11.7	1.8	13.5	0.13
04/06/02	20.7	3.8	24.6	0.15



Figur 4. Resultater fra kontinuerlig logging av vannføring ved Gysland kalkdoserer (**Figur 1**). Dataene er samlet inn i forbindelse med driftskontrollen for kalkdoserere i vassdraget (R. Høgberget, under bearbeiding). Pilene markerer tidspunkt for prøvetaking.



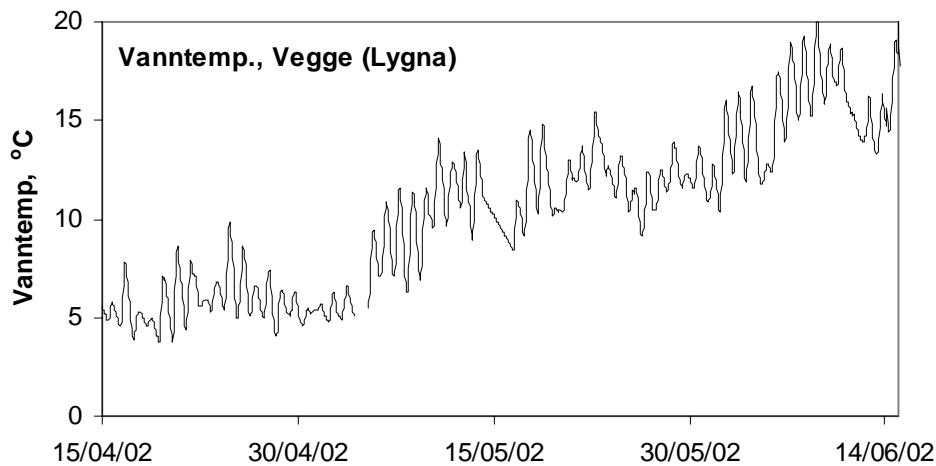
Figur 5. Relativt vannbidrag fra Møska til total vannføring i Lygna ved utløpet. Datagrunnlag som i **Tabell 2**, bortsett fra at vannføringsdata fra Lygna stammer fra NVE-stasjonen Tingvatn (NVE, 2002).

Vannhastighet

Vannhastigheten i elveprofilen vil variere med elvas svingemønstre. På grunn av sentrifugalkraften vil hastigheten være størst i yttersvingene, men avhengig av elvebunnens utforming kan det horisontale strømningsmønsteret variere noe ved ulike vannføringer. Denne horisontale variasjonen gjenspeiler seg også i målingene som ble tatt i forbindelse med dette prosjektet – det var betydelige forskjeller i vannhastighet innen hvert transekt og mellom transektene. (**Vedlegg A3**). De nedre delene av Lygna består av flere store elvesvinger (meandere), og innløpet fra Møska kommer inn i en yttersving (**Figur 2**). Midlere vannhastighet under de fire prøvetakingsrundene (målt som median av alle observasjonene foretatt i løpet av dagen) varierte mellom 0.15 og 0.45 m/s. (hhv. 21. og 7. mai). Det betyr at vannet ved lave til moderate vannføringer (10-50 m³/s) bruker i størrelsesorden 35-110 minutter på den 1 km lange strekningen fra innløpet av Møska til utløpet i sjøen.

Vanntemperatur

Temperaturen i vannet har betydning både for fysiske blandingsforhold mellom de to vassdragsgrenene og avgiftningshastigheten for Al. Temperaturen i Lygna økte gradvis i løpet av undersøkelsesperioden fra 5-6 °C den 24. april til 13-14°C den 4. juni (**Figur 6**). Ved alle prøvetakingsrundene våren 2002 hadde Møska en høyere vanntemperatur enn Lygna (**Vedlegg A4**). På grunn av de små tetthetsforskjellene dette skaper, vil Møska-vannet være noe lettere enn Lygna-vannet og ha en tendens til å legge seg helt i overflaten etter blanding. Temperaturdatene illustrerer imidlertid at sjiktningen brytes relativt raskt, og det ble registrert en oppvarming på 0.5 meters dyp allerede 250 meter etter blanding (**Vedlegg A4**). Den største temperaturendringen fant faktisk sted langs motsatt elvebredd, noe som indikerer at Møska-vannet i stor grad krysser elveprofilen (på overflaten) i stedet for å legge seg som en delstrøm langs nordre elvebredd. Blandingsforløpet mellom de to vassdragsgrenene er ventet å variere over tid, avhengig av vannføring og temperaturforhold. Det antas bl.a. at Møska vil avkjøles raskere enn Lygna i løpet av høsten, pga. stor varmemagasinerings i innsjøen Lygne.



Figur 6. Foreløpige resultater fra kontinuerlig logging av vanntemperatur ved Vegge i nedre del av Lygna (**Figur 1**). Dataene er samlet inn i forbindelse med overvåkingen av kalkingsvirksomheten i vassdraget (R. Høgberget, under bearbeiding).

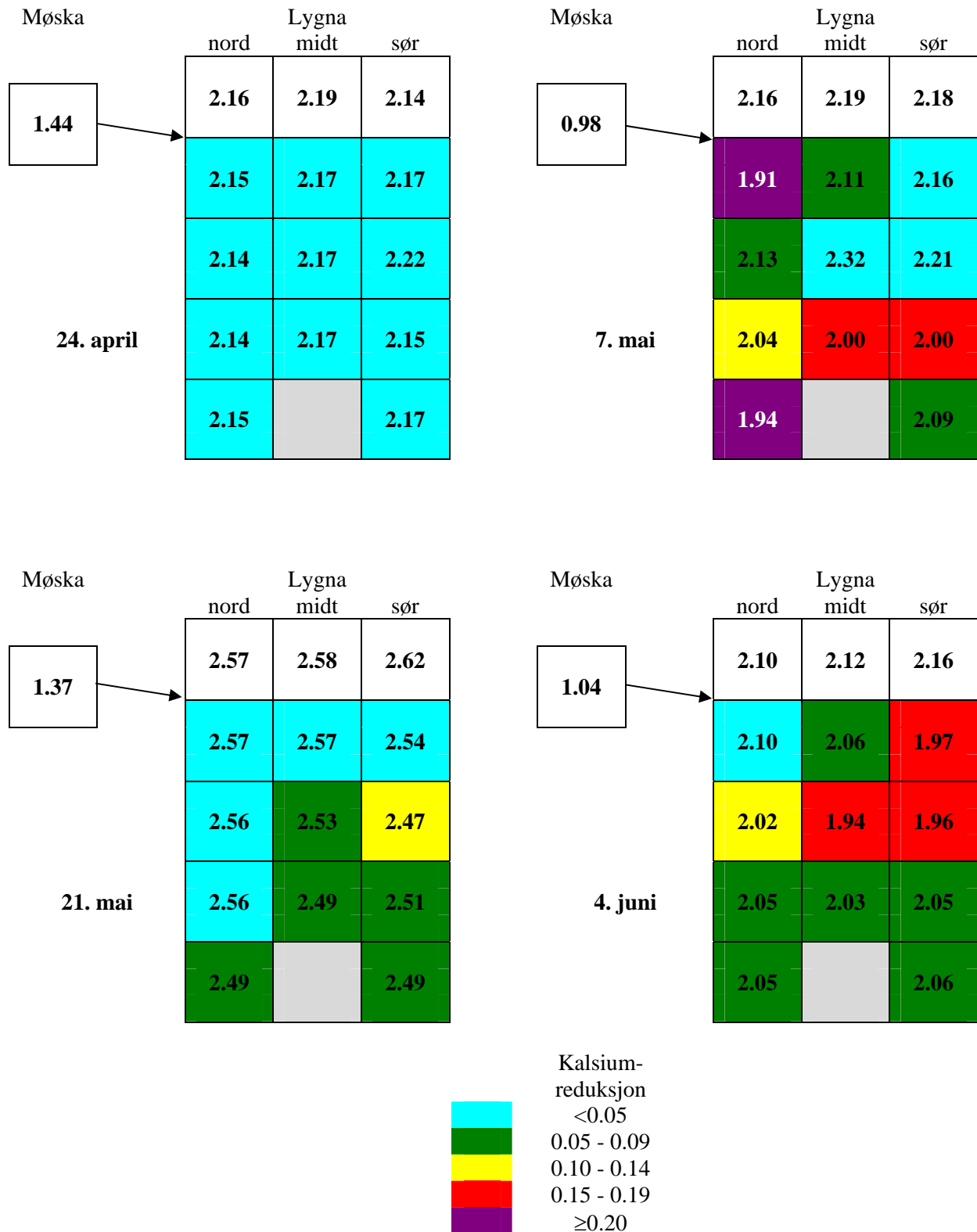
2.2 Kjemiske forhold

Kalsium (Ca)

Kalsium er en forholdsvis konservativ parameter som kan benyttes til å studere fordelingen av Møska-vann i Lygna. Midlere kalsiumkonsentrasjon oppstrøms blanding varierte i området 2.12-2.58 mg/L i løpet av de fire prøvetakingsrundene, mens konsentrasjonene i Møska var 0.98-1.44 mg/L (**Figur 7**). Den største påvirkningen på Lygna ble registrert den 7. mai og 4. juni, da det relative vannbidraget fra Møska var størst (**Tabell 2**). Selv på disse prøvedatoene var imidlertid kalsium-fortynningen i Lygna oftest under 0.2 mg/L. Basert på vannføringsdata fra Møska og Lygna (**Tabell 2**) er det beregnet teoretisk transport av kalsium i de to vassdragsgrenene, samt en antatt sluttkonsentrasjon ved fullstendig innblanding (**Tabell 3**). Dette viser at kalsiumavtaket i Lygna på 0.5 m dyp etter blanding var noe lavere enn det som teoretisk ble beregnet ut fra vannføring og kalsiumkonsentrasjon i de to vassdragsgrenene. Dette kan tyde på at vannet fra Møska ikke var fullstendig blandet inn i elveprofilet før vannet rant ut i sjøen. Graden av innblanding så videre ut til å øke med økende vannføring.

Tabell 3. Teoretisk beregning av transport av kalsium i Lygna og Møska samt teoretisk og målt kalsiumkonsentrasjon i Lygna etter blanding mellom de to vassdragsgrenene.

	Før blanding (mg Ca/L)		Før blanding (kg Ca/h)		Etter blanding (mg Ca/L)		
	Møska	Lygna	Møska	Lygna	Målt	Beregnet	Avvik
24.04.02	1.44	2.17	7.4	187.1	2.16	2.13	0.04
07.05.02	0.98	2.17	24.2	290.3	2.05	1.99	0.06
21.05.02	1.37	2.58	8.8	109.0	2.49	2.42	0.07
04.06.02	1.04	2.12	14.1	158.1	2.06	1.95	0.10

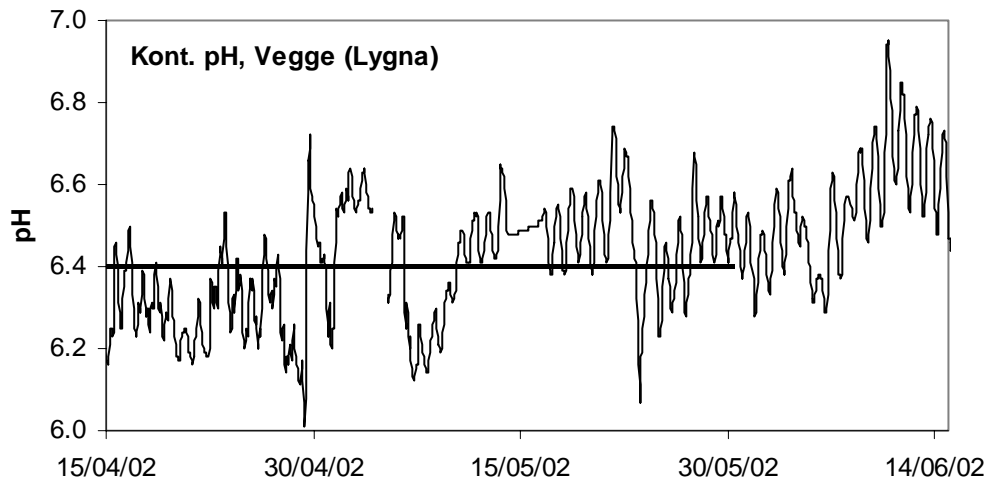


Figur 7. Kalsiumkonsentrasjon på 0.5 meters dyp i Møska og nedre Lygna den 24. april, 7. mai, 21. mai og 4. juni 2002. Fargekoder angir reduksjon i kalsiumkonsentrasjon i forhold til mediankonsentrasjon oppstrøms innløpet fra Møska.

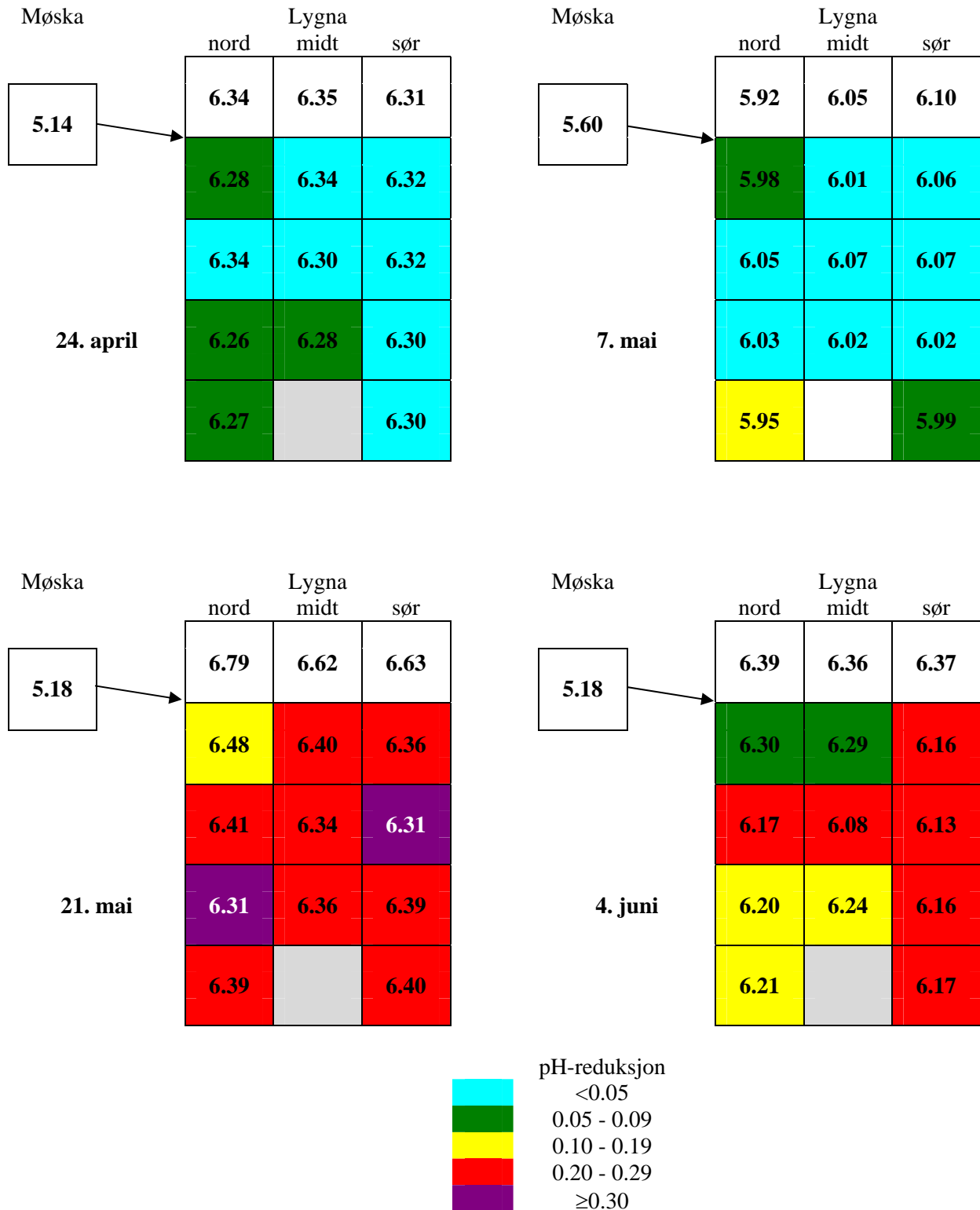
Surhet (pH)

Surheten i den nedre delen av Lygna overvåkes kontinuerlig i forbindelse med kalkingsvirksomheten i vassdraget (**Figur 8**). Stasjonen ved Vegge ligger omlag 10 km fra utløpet til sjøen (**Figur 1**). På de fire prøvetakingsdatoene 24.4, 7.5, 21.5 og 4.6 var pH ved Vegge (kl 00) hhv. 6.26, 6.23, 6.48 og 6.51. De tilsvarende verdiene i Lygna rett oppstrøms innløpet fra Møska var hhv. 6.34, 5.99, 6.73 og 6.78. Det var derfor ingen generell tendens til reforsuring i Lygna på strekningen mellom Vegge og utløpet av Møska, selv om pH avtok relativt kraftig på datoen med høyest vannføring (7. mai). pH-overvåkingen ved Vegge avdekket for øvrig at pH i elva ofte lå lavere enn det fastsatte pH-målet for perioden (6.4) (**Figur 8**). Forskjellene i pH-verdi antyder at Lygna nedstrøms Gysland kan være påvirket av flere sure sidebekker. Flommen som ble registrert tidlig i mai kan ha presset pH enda lavere enn 5.99 som ble målt 7. mai. Vannkvaliteten som ble målt denne dagen kan i seg selv være kritisk for marin overlevelse av utvandrende smolt.

Den største pH-reduksjonen i blandsonen nedstrøms Møska ble målt den 21. mai og 4. juni (**Figur 9**). På denne tiden ble det målt pH-avtak på inntil 0.3-0.4 enheter. Det må her legges til at pH-avtakene den 21. mai er mindre dramatiske, i og med at oppstrøms-pH var så høy som 6.7. De laveste pH-verdiene i blandsonen nedstrøms Møska (<6.00) ble målt den 7. mai. På denne tiden var det imidlertid også lav pH oppstrøms blandingspunktet, sannsynligvis pga. relativt stor vannføring og betydelige tilførsler av surt, ukalket vann fra restfeltet nedstrøms Gysland.



Figur 8. Foreløpige resultater fra kontinuerlig logging av pH ved Vegge i nedre del av Lygna. Dataene er samlet inn i forbindelse med overvåkingen av kalkingsvirksomheten i vassdraget (R. Høgberget, under bearbeiding). Det periodiserte pH-målet for kalkingen (6.4 fra 1. april til 31. mai) er indikert.



Figur 9. pH på 0.5 meters dyp i Møska og nedre Lygna den 24. april, 7. mai, 21. mai og 4. juni 2002. Fargekoder angir reduksjon i pH i forhold til median-pH oppstrøms innløpet fra Møska.

2.3 Mulige effekter på fisk

Vannprøvene er tatt på 0.5 m dyp, som antas å være et aktuelt vannsjikt for laks under utvandring. Basert på Ca-verdiene som ble målt på 0.5 m dyp er det i **Tabell 4** beregnet %-andel Møskavann for de ulike elvesegmentene. Denne beregningen antyder at Møska ikke blandes inn i hele vannvolumet fra Lygna og at det er stor variasjon i bidragsprosent på de ulike prøvetakingsstasjonene. Før prøvetakingen tok til, ble det antatt at vann fra Møska ville blandes med vann fra Lygna og transporteres langs den nordre bredden av elva. Søndre breidd var forventet å forbli mer upåvirket av Møska, iallfall inntil vannet var transportert mange 100-meter nedover elva. På de to siste prøvetakingstidspunktene var imidlertid vannbidraget fra Møska størst langs søndre breidd, på motsatt side av elva i forhold til samløpet. Dette antyder at Møska-vann kan transporteres tvers over Lygna og ikke innlagres langs nordre breidd som forventet.

Basert på beregnet fortykning på de enkelte prøvetakingspunktene er det estimert et teoretisk bidrag av LAI fra Møska (**Tabell 4**). Bidraget fra Lygna er for enkelthet satt til "null". Når surt vann blandes med vann med høyere pH, igangsettes det umiddelbart en polymeriseringsprosess hvor LAI transformeres til kolloidale og derved ugiftige former av Al. Denne prosessen tar minutter når pH er ≥ 6.3 , og kan ta flere timer når pH er ≤ 6.1 . Det antas i den videre tolkningen av materialet at når pH etter blanding ≥ 6.3 er Al fra Møska avgiftet i løpet av minutter og har således liten innvirkning på helsestatus for laks. Når pH derimot er ≤ 6.1 , antas det at Al ikke er avgiftet før elvevannet når munningen. Sannsynligheten for giftig vann er videre basert på mengde Al som skal transformeres. Vannhastigheten varierte betydelig mellom prøvetakingsdatoene og de ulike elvesegmentene (**Vedlegg A3**). Ved vannhastigheten som ble målt 7. mai vil elvevannet nå elvemunningen i løpet av ca 30 minutter, mens det ved lav hastighet (som f.eks. 21. mai) vil bruke ca 2 timer på samme strekning. Ved høyere vannføringer/vannhastigheter (f.eks. som under flommen tidlig i mai) vil en kunne få en stor romlig utbredelse av blandsonen, selv ved pH-verdier opp mot 6.3-6.4.

Det teoretiske LAI-bidraget til de enkelte prøvetakingspunktene i elva (**Tabell 4**) er maksimums-estimer, basert på at LAI oppfører seg som et konservativt element i elva. De beregnede verdiene vil være mest riktig på stasjonene nær munningen av Møska, mens feilnivået gradvis øker med avstanden fra samløpet og med økende pH. Det er forsøkt tatt hensyn til denne usikkerheten når vannkvalitet i de ulike elveavsnittene er evaluert nedenfor. Hver observasjonsdato er behandlet for seg:

4. april bidro Møska til en økning i LAI på mellom 0 og 3 $\mu\text{g/L}$. Denne økningen inntraff i vann med pH >6.25 . På grunn av relativt høy pH og lav tilførsel av LAI kan det antas at Al-bidraget var avgiftet i løpet av få minutter. Vannhastigheten var omkring 0.2-0.3 m/s. Arealet påvirket av pågående transformasjoner av Al var derfor sannsynligvis lavt.

7. mai var pH i Lygna lav i utgangspunktet (pH 5.9-6.1). Møska bidro med fra 0 til 20% av vannet på de ulike elvesegmentene og vannhastigheten var høy (0.4-0.6 m/s). Møska økte konsentrasjonen av LAI med 0-13 $\mu\text{g/L}$. Ettersom pH-nivået i elva var lavt (omkring 6.0 etter blanding), ble tilført Al transformert sakte i elva. På denne prøvetakingsdatoen var sannsynligvis hele vannsjiktet på 0.5 m (med unntak av transekt 2) kritisk for saltvannstoleransen til utvandrende laksesmolt. Skadeomfanget vil avhenge hvor lenge fisken faktisk oppholdt seg i dette vannet. Forskjellen i sannsynlig giftighetsgrad mellom transektene illustrerer hvor heterogen vannkvaliteten kan være, selv innenfor et kort elveavsnitt.

21. mai ble vann fra Møska primært gjenfunnet langs søndre breidd av Lygna – på motsatt side av der vann fra Møska munner ut. Langs denne bredden bidro Møska med fra 6 til 12 % av vannføringen. Vannhastigheten var lav (0.1-0.2 m/s). Ettersom LAI konsentrasjonen i Møska var lav (53 $\mu\text{g/L}$) ble det kun estimert en LAI-økning på 3-6 $\mu\text{g/L}$. pH var høy (>6.3) etter blanding, slik at LAI ble raskt transformert til ikke-giftige former. På grunn av den lave vannhastigheten forventes det at arealet påvirket av de pågående transformasjonene var lite.

4. juni bidro Møska med 9 til 17% av vannet langs søndre bredd. Det ble estimert en LAI-tilførsel på 5-10 µg/L. pH i blandingen var i underkant av det anbefalte (6.1-6.2), og det kan derfor antas at transformasjonshastigheten til AI var i størrelsesorden 1-2 timer. Dette innebærer at all utvandrende smolt som oppholdt seg i dette elveavsnittet på dette tidspunktet kan ha blitt negativt påvirket.

Tabell 4. Matrise som viser antatt skadeomfang på fisk i ulike transekter ovenfor (1) og nedenfor (2-5) innløpet av Møska. Forkortelser: MØ – Møska, LN – Lygna nordre bredd, LN – midten og LS – søndre bredd.

Trans	Dato	MØ	LN	LM	LS	MØ	LN	LM	LS	MØ	LN	LM	LS	MØ	LN	LM	LS
		% vannbidrag fra Møska				LAI-tilførsel fra Møska (µg/L)				Målt pH				Effekt på fisk (se skala nedenfor)			
1	24.4	100				88	0*	0	0	5.14	6.34	6.35	6.31				
2			1	1	0		1	1	0		6.28	6.34	6.32				
3			3	1	0		3	1	0		6.34	6.30	6.32				
4			3	1	0		3	1	0		6.26	6.28	6.30				
5			1		0		1		0		6.27		6.30				
1	7.5	100				66	0	0	0	5.60	5.92	6.05	6.10				
2			20	7	2		13	5	1		5.98	6.01	6.06				
3			3	0	0		2	0	0		6.05	6.07	6.07				
4			10	15	15		7	10	10		6.03	6.02	6.02				
5			19		7		13		5		5.95		5.99				
1	21.5	100				53	0	0	0	5.18	6.79	6.62	6.63				
2			0	2	6		0	1	3		6.48	6.40	6.36				
3			0	4	12		0	2	6		6.41	6.34	6.31				
4			0	7	9		0	4	5		6.31	6.36	6.39				
5			9		11		5		6		6.39		6.40				
1	4.6	100				57	0	0	0	5.18	6.39	6.36	6.37				
2			0	5	17		0	3	10		6.30	6.29	6.16				
3			8	18	18		5	10	10		6.17	6.08	6.13				
4			5	8	10		3	5	6		6.20	6.24	6.16				
5			5		9		3		5		6.21		6.17				

* LAI-konsentrasjon oppstrøms satt til null for å illustrere teoretisk LAI-bidrag fra Møska.

Fargekode	%-bidrag	Tilførsel av LAI	pH	Effekt på fisk
	0-3	0-2	>6.4	Liten betydning
	4-6	3-5	6.3-6.4	Mulig betydning
	7-13	6-9	6.1-6.3	Sannsynlig betydning
	>13	>10	<6.1	Stor betydning

3. Samlet vurdering

3.1 Status for vannkjemisk påvirkning

Målingene som er foretatt i Lygna nedstrøms innløpet av det sure sidevassdraget Møska viser tidvis en klar effekt på vannkjemien i blandsonen. Kalsiumkonsentrasjonen ble i enkelte tilfeller redusert med opptil 0.25 mg/L, mens pH kunne bli redusert med inntil 0.3-0.4 pH-enheter fra nivåer på pH 6.4-6.7 oppstrøms. Basert på teoretisk fortykning er det sannsynlig at vannet fra Møska ikke var fullstendig blandet inn i hele elveprofilen ved utløpet til sjøen, ca. 1 km nedenfor samløpet. Størst grad av innblanding forekom ved de høyeste vannføringerne. Alle prøvetakingsrundene våren 2002 ble foretatt ved lave til middels vannføringer, og med et relativt vannføringsbidrag fra Møska som lå noe under årsgjennomsnittet. Det er derfor sannsynlig at påvirkningen fra Møska på vannkvaliteten i Lygna i perioder kan være høyere enn det som er dokumentert gjennom denne undersøkelsen. De hydrologiske forholdene i løpet av undersøkelsen er likevel antatt å være relativt representative for denne tiden av året.

Målingene som er foretatt i blandsonen gir kun en indirekte indikasjon på faren for giftighet. Den giftige komponenten i blandsonen utgjøres av aluminium (Al), som i stor grad foreligger på labil, uorganisk form (LAl) i det sure sidevassdraget. Konsentrasjonene av LAl i Møska varierte i området 53-88 µg/L i løpet av de fire prøvetakingsrundene. Dette vil i seg selv være skadelig for fisk og mange forsuringssensitive ferskvannsorganismer. Når dette vannet møter det mindre sure vannet i Lygna, vil imidlertid LAl transformeres (endres) til enda giftigere tilstandsformer rett etter blanding. Etter en viss tid (avhengig av pH og temperatur) vil imidlertid Al etterhvert avgiftes og bli ufarlig for fisk dersom pH opprettholdes på et gunstig nivå (6.2-6.4). Direkte dokumentasjon på Al-transformasjonene som foregår i en blandsoner krever spesiell og relativt ressurskrevende felt- og analysemetodikk som ikke er anvendt her. En mer direkte metode for å studere giftighet på er å gjennomføre eksponeringsforsøk på fisk som er utplassert i bur på forskjellige steder i blandsonen.

3.2 Vurdering av potensielle effekter på fisk i blandsonen

Vannkvalitetene er vurdert som potensielt skadelige 7. mai og 4. juni, mens vannkvalitetene 24. april og 21. mai sannsynligvis ikke har påvirket laks i nevneverdig grad. Skadeomfang vil avhenge av flere faktorer, hvorav eksponeringsvarighet og grad av vannkvalitetsforringelse er blant de viktigste. Forskjellig grad av innblanding innen transektene medfører at fisk kan påvirkes/ikke påvirkes, avhengig av hvor i elva den befinner seg.

I hvilken grad en vannkvalitet påvirker laks i en negativ retning er avhengig av både kjemiske og biologiske forhold (f.eks. art og livsstadium). Det aktuelle elveavsnittet må derfor evalueres både for stasjonære og migrerende livsformer. Stasjonære former (f.eks. lakseparr) er betydelig mer robuste enn migrerende laksesmolt, men kan på den annen side utsettes for lengre eksponeringer. Det forventes ikke at vannkvalitetene som ble registrert i elveavsnittet nedstrøms Møska i april-juni 2002 var dødelig for lakseparr. Det kan imidlertid ha påvirket veksten eller svekket helsekvaliteten til enkeltindivider. Det ansees som mindre sannsynlig at slike skader er viktig for bestandens utvikling i Lygna.

Blandsoner i nedstrøms Møska er sannsynligvis heller ikke tilstrekkelig til å redusere smoltproduksjonen i nevneverdig grad. Denne antakelsen baseres på at elveavsnittet har relativt liten betydning som produksjonsområde sammenlignet med det totale for vassdraget. For migrerende livsstadier, som utvandrende smolt og oppvandrende voksen laks, kan området derimot representere en barriere hvor fisken skades under passering. Det ansees som lite sannsynlig at oppvandrende laks vil oppholde seg innenfor dette elveavsnittet så lenge at helsestatus kan påvirkes i særlig grad. Det må

imidlertid understrekes at kunnskapen om vannkvalitetskrav hos voksen laks (særlig mht. energiforbruk og reproduksjon) er så mangelfull at entydige konklusjoner ikke kan trekkes. Smoltstadiet er i alle undersøkelser ansett for å være det mest følsomme livsstadiet til laks, og den mest sårbare egenskapen til smolt som kan "skades" er saltvannstoleransen. Skader på denne kan påvirke marin overlevelse, marin vekst og muligens også svekke immunforsvaret.

Laksesmolt vandrer om natta og står i ro i kulper o.l. om dagen. På NINAs forskningsstasjon på Ims foregår utvandringen i løpet av 3-5 timer hver natt. Basert på forsøk er dette nok til å påvirke saltvannstoleranse hos laksesmolt ved marginale vannkvaliteter. Det er antatt av vannkvaliteten i blandsonen 7. mai og 4. juni var tilstrekkelig marginal til at utvandrende smolt kan skades dersom de oppholdt seg tilstrekkelig lenge innen avsnittet. Dersom smolten vandrer gjennom elveavsnittet i løpet av 30 til 60 minutter, ansees sannsynligheten for negativ effekt liten på samtlige datoer. Hvis smolten derimot oppholder seg i området 15-20 timer eller mer, kan effektene bli kritiske for marin overlevelse.

Det synes som om vannkvalitet innen det aktuelle elveavsnittet kan variere til dels betydelig fra dag til dag. Dette betyr at enkelte partier utvandrende smolt kan bli skadet, mens fisk som vandret noen dager før/etter vil være upåvirket. Denne variasjonen kan sannsynligvis også ha stor effekt på smoltoverlevelse fra et år til et annet. Vannkvaliteten i det aktuelle området vil således ikke kunne forhindre reetablering av laks, men vil kunne påvirke fangstutviklingen.

Nyere kunnskap om Al gjør at fokus ikke kun må settes på elveavsnittet fra Møska til munningen av Lygna. Al som er avgiftet med kalking vil transformeres på nytt til giftige former når elvevannet treffer saltvann. I forsøk og basert på erfaringer fra oppdrettsindustrien er størst "vannkvalitetsforringelse" påvist ved saliniteter mellom 3 og 15 ppt. Det er ikke usannsynlig at saliniteten i Lyngdalsfjorden ligger på dette nivået under vårflommer, og at vannkvaliteten for utvandrende laksesmolt kan være kritisk i dette tidsintervallet. Pilotforsøk antyder at Al som er avgiftet ved bruk av silikat ikke remobiliseres på giftig form.

3.3 Konklusjoner / anbefalinger

På basis av de nye resultatene fra samløpsområdet mellom Møska og Lygna anbefales følgende oppfølging:

- Repetering av forsøket, men med fargestoffet Rhodamine-B som markør. Vannprøver bør da tas fra flere dyp for bedre å kunne dokumentere både horisontal og vertikal utbredelse.
- Eksponeringsforsøk med fisk i blandsonen. Årets pilotforsøk illustrerer at fisk må eksponeres på et stort antall elvestasjoner for å få tilstrekkelig informasjon om heterogenitet i vannkvalitet. Fisken bør eksponeres kun 1 til 2 dager om gangen, i og med at stor dag til dag variasjon i vannkjemi kan jevne ut stedvise forskjeller i vannkvalitet. Analyse av Al på fiskegjeller vil antyde konsentrasjon bio-akkumulerbart Al i vannmassene.

Aktuelle avbøtende tiltak:

- Vannkvalitetsproblemer i blandsonen vi kunne reduseres/elimineres dersom det igangsettes avsyringstiltak i Møska under smoltutvandningsperioden. Silikatbehandling kan være aktuelt, i og med at dette sikrer rask og permanent immobilisering av giftig Al.
- Subsidiært kan det være aktuelt å overdosere ved den eksisterende Gysland-doseringen basert på værprognoser. Det må for øvrig komme klarere frem at det endelige målområdet for kalkingen av Lygna er elvestrekningen mellom Møska og utløpet i fjorden. Nederste overvåkingsstasjon for vannkjemi ligger per i dag ved Vegge, omlag 10 km fra utløpet.

4. Referanser

- DN 2000. Lygnavassdraget. I: Kalking av vann og vassdrag – overvåking av større prosjekter, DN-notat 2000-2, 167-189.
- Rosseland, B.O., Blakar, I., Bulger, A., Kroglund, F., Kvellestad, A., Lydersen, E., Oughton, D.H., Salbu, B., Staurnes, M. og Vogt, R. 1992. The mixing zone between limed and acidic river waters: complex aluminium chemistry and extreme toxicity for salmonids. *Environ. Pollution* 78: 3-8.
- NVE 2002. Vannføring ved NVE-stasjonene Tingvatn og Møska i 2000 og 2001. Norges vassdrags- og energiverk, hydrologisk avdeling, Oslo.

Vedlegg A. Primærdata

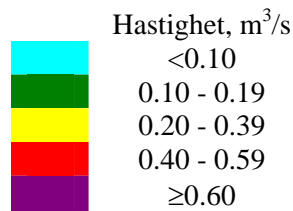
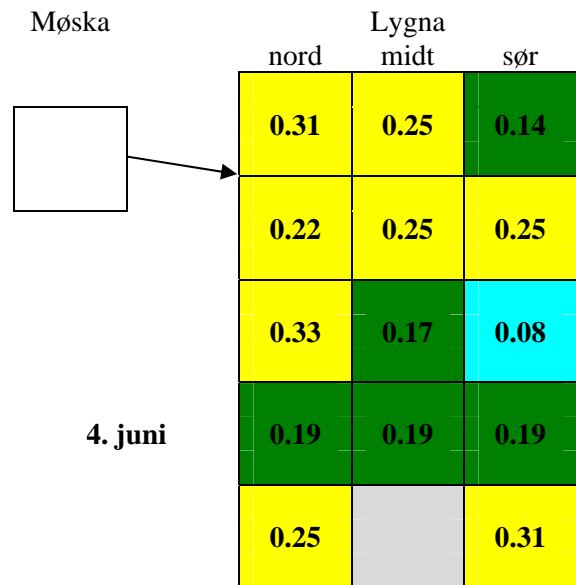
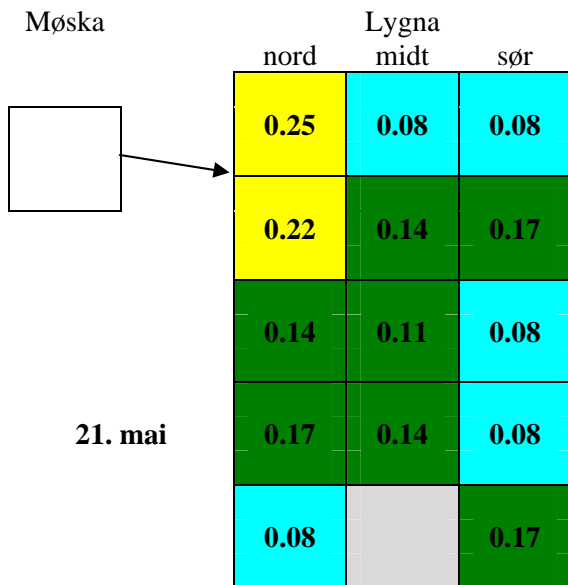
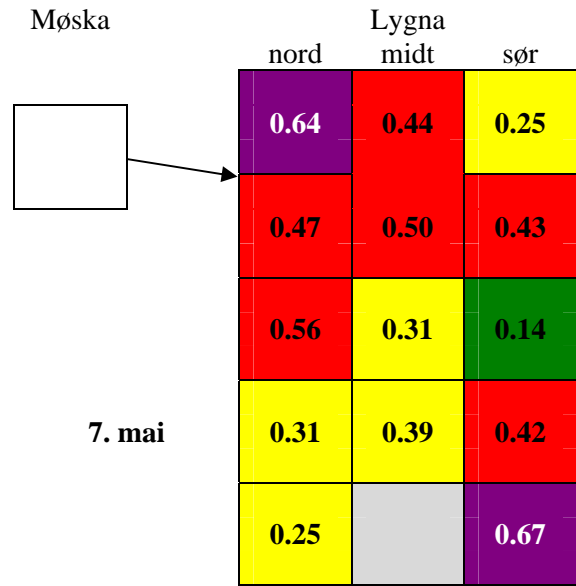
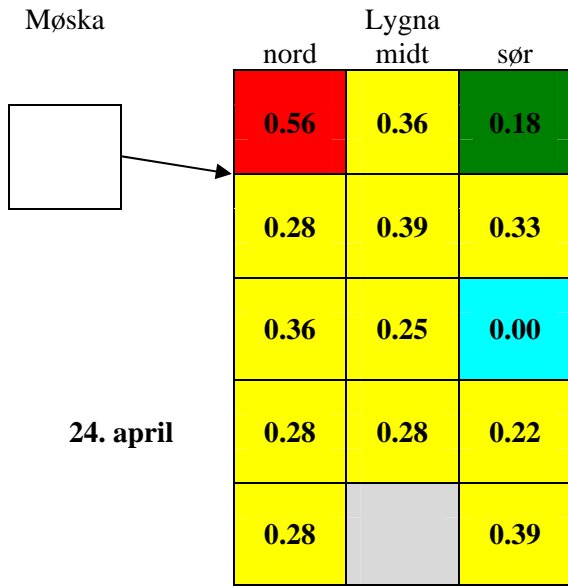
A1. Prøvetakingsstasjoner med kartreferanse (1'Nord tilsvare ca. 1.85 km og 1'Øst tilsvare ca 1 km i området).

Stasjon	Nord	Øst
1a	58° 8.686'	7° 3.722'
1b	58° 8.683'	7° 3.707'
1c	58° 8.677'	7° 3.697'
2a	58° 8.753'	7° 3.381'
2b	58° 8.741'	7° 3.379'
2c	58° 8.730'	7° 3.376'
3a	58° 8.720'	7° 3.160'
3b	58° 8.712'	7° 3.175'
3c	58° 8.705'	7° 3.186'
4a	58° 8.585'	7° 2.995'
4b	58° 8.579'	7° 2.011'
4c	58° 8.573'	7° 2.030'
5a	58° 8.367'	7° 2.862'
5b	58° 8.510'	7° 2.809'

A2. Fullstendige kjemidata fra Møska

	Kortnavn	Enhet	24/04/02	07/05/02	21/05/02	04/06/02
pH			5.14	5.60	5.18	5.18
Kalsium	Ca	mg/L	1.44	0.98	1.37	1.04
Alkalitet	ALK-E	µekv/L	-4	-4	-6	-4
Reaktivt aluminium	RAI	µg/L	120	102	80	90
Ikke-løst aluminium	ILAI	µg/L	32	36	27	33
Løst aluminium	LAI	µg/L	88	66	53	57
Totalt organisk karbon	TOC	mg/L	1.8	2.1	2.0	2.1
Konduktivitet	Kond	mS/m	4.45	3.79	3.95	3.56
Magnesium	Mg	mg/L	0.53	0.47	0.49	0.50
Natrium	Na	mg/L	4.73	4.07	4.24	4.20
Kalium	K	mg/L	0.34	0.32	0.31	0.29
Klorid	Cl	mg/L	9.4	7.5	8.2	7.1
Sulfat	SO4	mg/L	2.3	2.2	2.3	2.3
Nitrat	NO3-N	µg/L	225	210	185	170
Total nitrogen	TOT-N	µg/L	350	335	300	295
Total fosfor	TOT-P	µg/L	3	3	3	3
Syrenøytraliserende kapasitet	ANC	µekv/L	-2.5	-0.6	6.1	20.6

A3. Vannhastighet (m/s) i Møska og nedre Lygna den 24. april, 7. mai, 21. mai og 4. juni 2002.



A4. Vanntemperatur (°C) på 5 meters dyp i Møska og nedre Lygna den 24. april, 7. mai, 21. mai og 4. juni 2002. Fargekoder angir temperaturøkning i forhold til median temperatur oppstrøms innløpet fra Møska.

