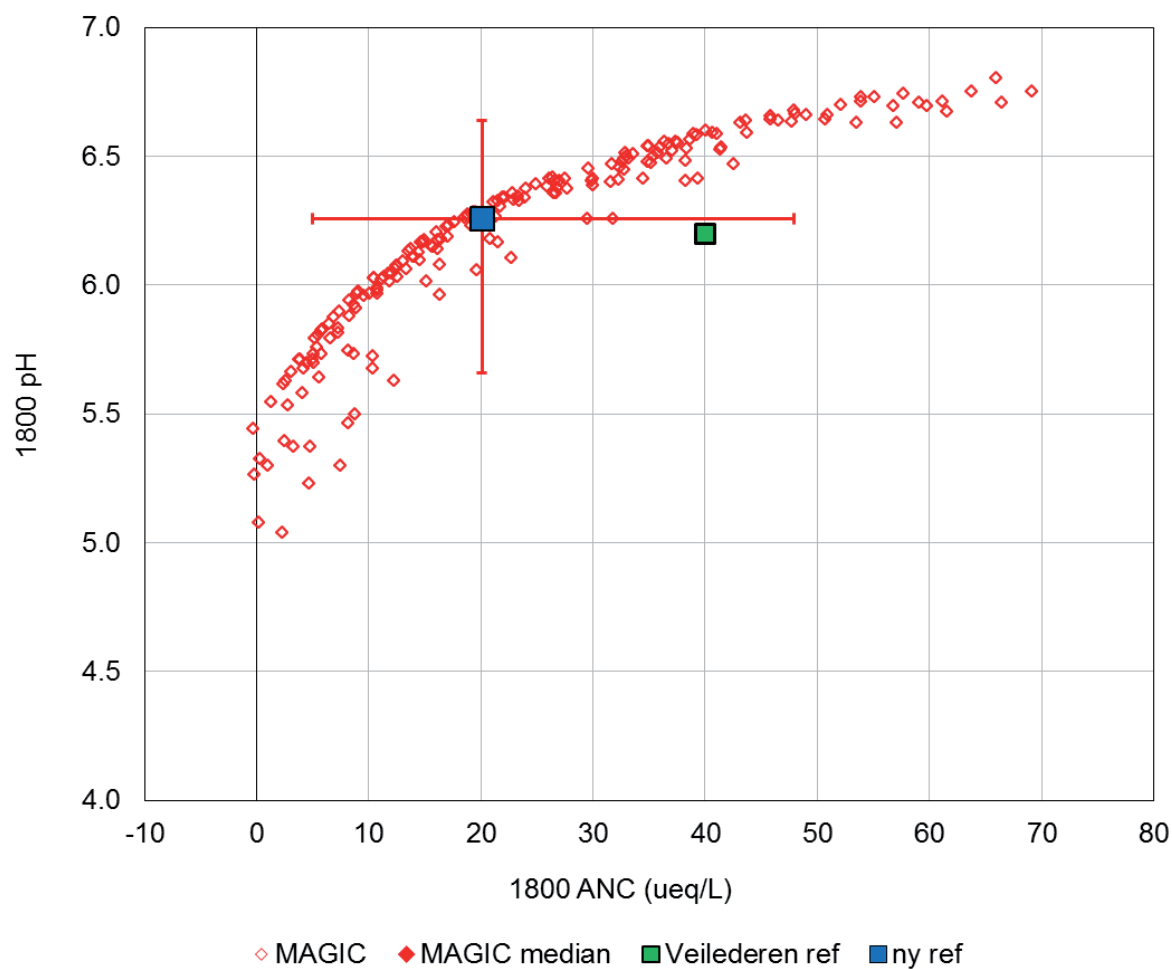


# Referanseverdier for Forsuringsfølsomme kjemiske støtteparametre

Kategori 19 (3,1,1) (fjell, sv. kalkfattige, klare) n = 200



# RAPPORT

**Hovedkontor**

Gaustadalléen 21  
0349 Oslo  
Telefon (47) 22 18 51 00  
Telefax (47) 22 18 52 00  
Internett: www.niva.no

**Sørlandsavdelingen**

Jon Lilletuns vei 3  
4879 Grimstad  
Telefon (47) 22 18 51 00  
Telefax (47) 37 04 45 13

**Østlandsavdelingen**

Sandvikaveien 59  
2312 Ottestad  
Telefon (47) 22 18 51 00  
Telefax (47) 62 57 66 53

**Vestlandsavdelingen**

Thormøhlensgate 53 D  
5006 Bergen  
Telefon (47) 22 18 51 00  
Telefax (47) 55 31 22 14

**NIVA Midt-Norge**

Pirsenteret, Havnegata 9  
Postboks 1266  
7462 Trondheim  
Telefon (47) 22 18 51 00  
Telefax (47) 73 54 63 87

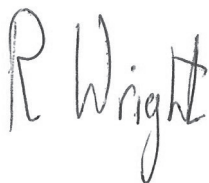
Tittel Referanseverdier for forsurningsfølsomme kjemiske støtteparametre	Løpenr. (for bestilling) 6388-2012	Dato Mai 2012
	Prosjektnr. Undernr. O-11482	Sider Pris 32
Forfatter(e) Richard F. Wright <i>B. Jack Cosby (University of Virginia, USA)</i>	Fagområde Vanndirektivet	Distribusjon Fri
	Geografisk område Norge	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Direktoratet for Naturforvaltning	Oppdragsreferanse DN 11040068
---	----------------------------------


**Sammendrag**

I Veilederen 1:2009 «Klassifisering av miljøtilstand i vann» oppgis referanseverdier for vannkjemiske forsurningsparametre for innsjøer. Disse verdiene er trolig for høye. I denne undersøkelsen har to modeller (MAGIC og F-faktor) blitt benyttet til å estimere nye verdier for før-forsurnings ANC og pH i 990 innsjøer fra den regionale innsjøundersøkelsen fra 1995. Nye referanseverdier er foreslått, og er for svært kalkfattige innsjøtyper vesentlig lavere enn de i Veilederen. Noen av referanseverdiene er også lavere enn klassegrensen mellom «god» og «moderat» status i Veilederen. En innsjø-spesifikk prosedyre er foreslått, basert fortrinnsvis på MAGIC modellen, enten direkte eller via det svenske «MAGIC-biblioteket». Alternativ kan også F-faktor modellen brukes. Denne gir imidlertid noe lavere referanseverdier med hensyn på ANC og pH enn MAGIC.

Fire norske emneord 1. Vanndirektivet 2. Sur nedbør 3. Innsjø 4. vannkjemi	Fire engelske emneord 1. Water Framework Directive 2. Acid deposition 3. Lake 4. Water chemistry
--	--



Richard F. Wright  
Prosjektleder



Øyvind Kaste  
Forskningsleder



Brit Lisa Skjelkvåle  
Forskningsdirektør

## **Referanseverdier for forsuringsfølsomme kjemiske støtteparametre**

## Forord

I den norske «Veileder 01:2009 Klassifisering av miljøtilstand i vann» er klassegrenser og referanseverdier for vannkjemiske forsuringsparametre for innsjøer og elver oppgitt. For innsjøer kan disse referanseverdiene imidlertid være for høye. DN ga i desember 2011 NIVA i oppdrag å revurdere referanseverdiene, og foreslå metoder for å beregne innsjøspesifikke referanseverdier, samt foreslå eventuelle nye verdier for de ulike innsjøtypene. NIVA har brukt innsjødata fra den landsomfattende innsjøundersøkelsen i 1995, kalibrering med MAGIC modellen, og beregning med F-faktor modellen. Hovedarbeid er utført av Richard Wright. MAGIC arbeidet er gjort i samarbeid med B. Jack Cosby, University of Virginia, USA. Ann-Kristin Schartau ved NINA, Kari Austnes, Øyvind Garmo, Arne Henriksen, Atle Hindar og Øyvind Kaste ved NIVA har bidratt med råd og kommentar. Eirin Pettersen har bidratt med redaksjonell hjelp. Kari Austnes har lest gjennom rapporten og gitt kommentarer.

Kontaktperson på DN har vært Steinar Sandøy.

Oslo, mai 2012

*Richard F. Wright*

---

# Innhold

<b>Innhold</b>	<b>4</b>
<b>Sammendrag</b>	<b>5</b>
<b>Summary</b>	<b>7</b>
<b>1. Bakgrunn</b>	<b>9</b>
<b>2. Datagrunnlaget og metoder</b>	<b>10</b>
2.1 Innsjødata	10
2.2 MAGIC modellen	10
2.3 F-faktor modellen	10
2.4 Beregning av pH	10
2.5 Inndeling i innsjøtyper	11
2.6 Klassegrenser for pH og ANC i innsjøer	14
<b>3. Resultater</b>	<b>16</b>
3.1 ANC og pH ved MAGIC og F-faktor	16
3.2 Modellert ANC og pH 1800 i forhold til referanseverdiene i Veilederen	18
3.3 Forslag til nye referanseverdier for innsjøtypene	19
<b>4. Diskusjon</b>	<b>22</b>
4.1 Hvorfor så mye spredning innen de enkelte innsjøkategoriene?	22
4.2 Hvordan bestemmes referanseverdiene i Sverige?	22
4.3 Kompatibilitet mellom Veilederen og tålegrenser	23
<b>5. Konklusjoner og anbefalinger</b>	<b>24</b>
5.1 Konklusjoner	24
5.2 Anbefalinger	24
<b>6. Referanser</b>	<b>25</b>
<b>Vedlegg A. Beregnet pH1800 og ANC1800</b>	<b>27</b>

---

## Sammendrag

I den norske «Veileder 01:2009 Klassifisering av miljøtilstand i vann» er klassegrenser og referanseverdier for vannkjemiske forsuringsparametre for innsjøer og elver oppgitt. Referanseverdiene i Veilederen er satt lik medianen for vannkjemiske data fra innsjøer fra områder som er antatt å ikke være påvirket av sur nedbør. For innsjøer kan referanseverdier (før forsuringstilstand) imidlertid være for høye. Både statiske og dynamiske modeller kan brukes for å estimere referanseverdier for forsurede vann. Vi har vurdert disse referanseverdiene, og foreslår metoder for å beregne innsjø-spesifikke referanse verdier, samt eventuelt nye typespesifikke referanseverdier. Til dette har vi har brukt innsjødata fra den landsomfattende innsjøundersøkelsen i 1995, kalibrering med MAGIC modellen, og beregning med F-faktor modellen.

Begge modellene beregner ANC (acid neutralising capacity) for før-forsuringstilstanden (her satt til år 1800). pH beregnes så ut fra ANC, gitt antagelser for partiell trykk av CO<sub>2</sub> i vannet, mengden organiske syrer og deres styrke, og mengden uorganisk labilt aluminium.

MAGIC og F-faktor gir nesten like simulerte ANC verdier for år 1800 (før forsuring). MAGIC gir imidlertid noe høyere opprinnelig ANC enn F-faktor modellen. Dette skyldes trolig at de to modellene har forskjellig måte å behandle kationbyttning i jordsmonnet over tid.

I Veilederens inndeling for innsjøer og elver med hensyn på forsuringsparametre blir innsjøer delt opp i tre høyderegioner, tre Ca nivåer, og tre humus (TOC) nivåer. Veilederen oppgir referanseverdier for 13 av de 27 innsjøtypene. De andre antas ikke å være relevant i forsuringssammenheng (de med høye Ca konsentrasjoner), eller kun være representert med noen få innsjøer i Norge.

Innen hver innsjøtype er det stor spredning i MAGIC modellert pH1800 og ANC1800. Dette skyldes de grove inndelingene av Ca gruppene. For en stor andel av de svært kalkfattige innsjøene var ANC1800 og pH1800 vesentlig lavere enn referanseverdiene oppgitt i Veilederen. Dermed er det vanskelig å spesifisere en referanseverdi for ANC og pH som er gjeldende for alle innsjøer av en gitt innsjøtype. En innsjø-spesifikk prosedyre vil da være bedre.

Forslag til nye referanseverdier for pH og ANC kan være medianen av pH1800 og ANC1800 for innsjøene innenfor hver innsjøtype. Ca. halvparten av innsjøene vil da ikke kunne oppnå referanseverdien ved null tilførsel av sur nedbør. Valg av medianen innebærer at de nye referanseverdiene i noen tilfeller vil være lavere enn SG/G og G/M grensene oppgitt i Veilederen for de svært kalkfattige innsjøtypene.. Dette indikerer at disse grensene også bør bestemmes innsjøspesifikt.

### Anbefalinger:

- En innsjø-spesifikk prosedyre bør benyttes for å anslå referanseverdiene for ANC og pH.
  - MAGIC modellen brukes direkte hvis mulig.
  - MAGIC analyser for norske innsjøer bør legges inn i det svenske MAGIC-biblioteket, slik at referansetilstanden for en gitt innsjø kan fås ved bruk av MAGIC-biblioteket. Dette vil også være fordelaktig for innsjøer som ligger nært svenske grensen, fordi disse da vil kunne «matches» med både norske og svenske innsjøer.
  - Alternativt beregnes referansetilstanden ved hjelp av F-faktor modellen, som beskrevet i Hindar and Wright (2002).

- Dersom en innsjø-spesifikk prosedyre benyttes, så bør også SG/G og G/M grensene være innsjø-spesifikke.
- Dersom referanseverdiene likevel skal settes for hver innsjøtype, så kan disse være medianen av pH1800 og ANC1800 for innsjøene i hver innsjøtype.

## Summary

Title: Reference values for acidification parameters in acid-sensitive lakes

Year: 2012

Author: Richard F. Wright, B. Jack Cosby

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: ISBN 978-82-577-6123-3

In the Norwegian “Manual 01:2009 Classification of environmental status in water” there are specified class criteria and reference (pre-acidification) values for acidification parameters ANC (acid neutralising capacity) and pH. For lakes the reference values by lake type may be too high. Statistical and dynamic models can be used to estimate reference values for ANC and pH in lakes. We use the lake survey data (990 lakes) from the 1995 national lake inventory together with the dynamic model MAGIC and the static F-factor model to give new estimates for reference values for lake types, and propose lake-specific procedure for setting reference values for individual lakes.

Both models calculate pre-acidification (here set to year 1800) ANC. pH then is calculated using an empirical relationship with assumptions for partial pressure of CO<sub>2</sub>, amount and strength of organic acid, and amount of inorganic labile aluminium.

MAGIC and F-factor give nearly the same pre-acidification ANC for most lakes, although MAGIC gives slightly higher values for the most acid-sensitive sites. This is because MAGIC treats the soil cation-exchange complex as changing over time, while the F-factor model assumes that it does not change over time.

The Manual divides lakes into three elevation groups, three Ca-concentration levels and three humus concentration levels. Reference values are given for 13 of these 27 lake types. The other types are either judged as irrelevant for acidification (high Ca-concentrations) or represented by only a few lakes in Norway.

There is a large variation of ANC<sub>1800</sub> and pH<sub>1800</sub> within each of these groups, and the spread is largest for the lowest Ca group. This makes it difficult to specify only one reference value that is valid for all lakes within one group. A lake-specific procedure would be much better.

In order of preference this procedure would be:

- (1) Direct calibration of MAGIC to the lake
- (2) “Matching” of the lake to a lake in the Swedish MAGIC library. This is conditional on MAGIC runs for the 990 Norwegian lakes being entered into the MAGIC library.
- (3) F-factor model estimate pre-acidification conditions.

If, on the other hand, reference values are to be set to lake type, then these values can be taken from the medians of pH<sub>1800</sub> and ANC<sub>1800</sub> for lakes in each type. The SG/G and G/M class limits for some of the lake types may need revision, however, because the new reference values may be lower than the current class limits.

Recommendations:

- A lake-specific procedure be used to set reference values for ANC and pH in lakes
  - The MAGIC model be calibrated directly if possible



- If not, then matching of the lake to lakes with MAGIC calibrations in the Swedish MAGIC library, but this is conditional on Norwegian lakes being put into the library.
  - If MAGIC is not used, then the F-factor model be used to calculate lake-specific reference ANC and pH
  - Lake-specific class limits for SG/G and G/M may also be necessary.
- If reference values must be set for lake types, then the values can be set as the median values of pH1800 and ANC1800 for lakes within each lake type.

# 1. Bakgrunn

I 2009 utgav «Direktoratsgruppa for gjennomføring av vanddirektivet» en veiledningsrapport (heretter kalt «Veilederen») som omhandler klassifisering av miljøtilstand i vann, med blant annet forslag til typespesifikke referanseverdier for forsurningsfølsomme vannkjemiske og biologiske parametre i Norge (Direktoratsgruppa-vanddirektivet 2009). Referanseverdiene for de vannkjemiske støtteparameterne pH, acid neutralising capacity (ANC), og labilt aluminium (LAI) var basert på en analyse av vannkjemiske data fra innsjøer som antas ikke å være vesentlig påvirket av sur nedbør (Solheim et al. 2008). Disse lokalitetene ligger i Møre og Romsdal, Midt-Norge og Nord-Norge, mens de mest forsurningsutsatte områdene ligger på Sør-Vestlandet, Sørlandet og Østlandet. En antagelse bak denne analysen i Veilederen er at referanselokalitetene i nord er representative også for forsurede vann i sør tilhørende samme vanntype, og de forsurede vannene i sør hadde den samme vannkjemien som vann i nord har i dag (rom-for-tid analogien) før forsuring tok til for 200 år siden, gitt at de tilhører samme vanntype. Geologien og andre naturforhold på deler av Sør- og Sør-Vestlandet medfører imidlertid at innsjøer her er ekstremt forsurningsfølsomme. Tålegrensekart for overflatevann i Norge viser at de mest følsomme områdene finnes nettopp i Sør- og Sørvest Norge (Henriksen and Buan 2000).

Det finnes alternative metoder for å estimere referanseverdier for forsurede vann. Både statiske (Hindar and Wright 2002) og dynamiske modeller som MAGIC (Cosby et al. 1985a, Cosby et al. 1985b, Cosby et al. 2001) kan brukes. I forbindelse med revisjon av Göteborg-protokollen til UNECE LRTAP (United Nations Economic Council for Europe Convention on Long Range Transboundary Air Pollution) har NIVA kalibrert MAGIC opp mot 990 av de 1005 innsjøene som inngikk i den regionale innsjøundersøkelsen fra 1995 (Larssen et al. 2008a). Disse modellkjøringene kan brukes til å lage estimat av opprinnelig (før forsuring) vannkjemien, og dermed estimere referanseverdier. Vi har ved dette et nytt og større datagrunnlag til å estimere referanseverdier for forsurede vannforekomster i Norge. Den statiske «F-faktor» modellen basert på tålegrensemodellen SSWC (Steady-state water chemistry) (Henriksen and Posch 2001) kan også benyttes til å estimere vannkjemien før-forsuring (Hindar and Wright 2002).

I denne undersøkelsen benyttes målte og modellerte data fra de 990 innsjøene, fordelt i vann typer som beskrevet i Veilederen, til å forslå nye referanseverdier for innsjøtyper, samt prosedyrer for innsjø-spesifikke beregninger av referanseverdier. Videre kommer vi med anbefalinger ang. revidering av Veilederen på forsurningsfølsomme vannkjemiske parametre.

## 2. Datagrunnlaget og metoder

### 2.1 Innsjødata

Analysen baseres på vannkjemiske og kringdata for de 1005 statistisk utvalgte innsjøene prøvetatt høsten 1995 (Skjelkvåle et al. 1996). Disse dataene er lagret ved NIVA. I MAGIC-modellen brukes i tillegg data for jord (fra Norsk Institutt for Jord og Skogkartlegging NIJOS nå Skog og landskap) og deposisjon (fra Norsk Institutt for Luftforskning NILU og Coordination Center for Effects CCE, Bilthoven), som nærmere beskrevet i Larssen et al. (2008a).

### 2.2 MAGIC modellen

MAGIC (Model of Acidification of Groundwater In Catchments) er en dynamisk modell basert på prosesser i jordsmonnet og innsjøen som påvirker forsurening av vann og vassdrag (Cosby et al. 1985a, Cosby et al. 1985b, Cosby et al. 2001). Ved å kalibrere MAGIC til dagens vann- og jordkemi kan forsureningshistorien tilbake i tid beregnes. Likeledes kan den framtidige utviklingen modelleres. MAGIC har blitt hyppig brukt i Norge og utlandet, både på enkelte lokaliteter (som f.eks. Hovvatn og Saudlandsvatn) (Hindar and Wright 2005, Hesthagen et al. 2011), og på store nasjonale (Larssen et al. 2008a, Larssen et al. 2010) og europeiske datasett (Wright et al. 2005).

### 2.3 F-faktor modellen

F-faktor modellen er en empirisk modell basert på et stort antall målte vannkjemidata fra innsjøer i Norge og utlandet (Henriksen 1980, Henriksen et al. 1996). Modellen tar utgangspunkt i observasjonen at ved en gitt belastning av svoveldeposisjon er innsjøens ANC og pH en funksjon av konsentrasjonen av kalsium (Ca) – jo høyere Ca desto høyere ANC og pH. Videre antas at Ca kommer fra forvitring av mineraler i jordsmonnet, samt ionebytting av Ca mot sure kationer som H<sup>+</sup> og labilt aluminium (Al<sup>3+</sup>). Forvitring antas konstant over tid, mens ionebytting er avhengig av jordsmonnets lager av utbyttbare basekationer og konsentrasjonen av sure kationer. Disse er relatert til sulfat-konsentrasjonen.

F-faktor modellen er grunnlaget for beregningen av tålegrenser for overflatevann. Både SSWC (steady-state water chemistry) og FAB (first-order acidity balance) modellene baserer seg på F-faktoren (Henriksen and Posch 2001). Begge modellene blir benyttet i Norge for å beregne tålegrenser for overflatevann som er blitt levert til CCE for bruk i arbeidet med begrenning av utslipp av svovel og nitrogenforbindelser til luft i Europa (LRTAP).

Hindar and Wright (2002) har utarbeidet en enkelt regnemetode for å beregne opprinnelig vannkemi basert på F-faktor modellen.

### 2.4 Beregning av pH

Både MAGIC og F-faktor modeller estimerer ANC. Ytterligere antagelser må til for å beregne pH fra ANC. Begge modellene tar utgangspunkt i vannkjemisk ionebalanse (enheter  $\mu\text{ekv/l}$ ).

$$\sum kationer = \sum anioner$$

$H^+ + Al^{n+} + Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+ + K^+ = CO_3^{2-} + HCO_3^- + org^- + SO_4^{2-} + Cl^- + NO_3^-$ ,  
hvor  $Al^{n+}$  er labilt aluminium og  $org^-$  er organiske anioner.

$$ANC = \sum baskationer - \sum sterke\ syre\ anioner$$

$$ANC_1 = (Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+ + K^+) - (SO_4^{2-} + Cl^- + NO_3^-)$$

Fra ionebalansen:

$$ANC_1 = ANC_2 = (CO_3^{2-} + HCO_3^- + org^-) - (H^+ + Al^{n+})$$

I teorien kan  $H^+$  (og pH) regnes ut fra  $ANC_2$ , gitt at de andre komponentene kan fastsettes. Bikarbonat og karbonat er avhengig av partialtrykk av  $CO_2$  i vannet ( $pCO_2$ ).  $Org^-$  er avhengig av TOC-konsentrasjonen og dissosiasjonskoeffisienten for organiske syrer ( $pK$ 's), og labilt Al er avhengig av løslighetskonstanten for aluminiumhydroksid, samt komplekskonstantene for andre Al-spesier (hovedsakelig fluor og sulfat komplekser). Bikarbonat og karbonat, organiske anioner, og labilt Al er alle funksjoner av pH. I praksis beregnes  $H^+$  (og pH) ved å fastsette verdier for  $pCO_2$ , TOC og  $pK$ , samt løslighetskonstanten for Al (Hindar and Wright 2002, Fölster et al. 2007).

Følgende verdier har blitt benyttet ved beregning av referanse-pH (her kalt 1800pH) fra referanse-ANC (her kalt 1800ANC) (Tabell 1):

**Tabell 1.** Verdier brukt for beregning av pH fra ANC.

	Betegnelsen, enheter	Verdi
$pCO_2$	Partialtrykk, vol %	$2 \times atm = 0.00063$
TOC	Total organisk karbon, mg C/L	Målt 1995
Atot	Total organisk syrer, $\mu mol/L$	$TOC \times 10,2/3$
$pK$ 's	Dissosieringskonstanter i en triprotisk modell	3,04; 4,51; 6,46 (Hruška et al. 2003)
$Al^{n+}$	Labilt aluminium	Antas null

## 2.5 Inndeling i innsjøtyper

Norge er delt opp i ulike økoregioner, og i Veilederen er innsjøer fordelt i ulike kategorier etter tre høyderegioner, to størrelser, tre Ca innhold, og to humusinnhold (Tabell 2). Denne typologien er basert på forslag fra Solheim and Schartau (2004). Senere har det kommet flere revideringer, delvis publiserte (slik som den som er presentert i en annen tabell i veilederen) og delvis upubliserte (men implementert i Vann-nett). Den øvre Ca kategorien har siden blitt delt opp i to: moderat kalkrike (4-20 mg Ca/L) og kalkrike (>20 mg Ca/L). Kun de svært kalkfattige og kalkfattige ble vurdert som relevante i forhold til forsuring. Den øvre humus kategorien er også blitt delt opp i to, slik at det skal være 4 humuskategorier: svært klare (< 2mgC/L), klare (2-5 mg C/L), moderat humøse (5-10 mg C/L), humøse (10-15 mg C/L), og svært humøse (>15 mg C/L). Det er imidlertid få norske innsjøer i den høyeste humuskategorien, og er derfor ikke skilt ut her.

**Tabell 2.** Innsjøtyper i Norge, modifisert fra Tabeller 3.3 og 3.4 i Direktoratgruppa-vanndirektivet (2009). «N GIG type» er fellestyper med andre nordiske land (Sverige, Finland, England og Irland) som er brukt i interkalibreringen

Høyderegion	Typenr.	N GIG type kode	Typebeskrivelse	Størrelse km <sup>2</sup>	Ca mg/L	Humus mgC/L
lavland < 200 m.o.h.	1	L-N2	små, kalkfattige, klare	<5	1-4	<5
	2	L-N3	små, kalkfattige, humøse	<5	1-4	5-15
	3	L-N1	små, moderat kalkrike, klare	<5	4-20	<5
	4	L-N8	små, moderat kalkrike, humøse	<5	4-20	5-15
	5		store, svært kalkfattige, klare	>5	<1	<5
	6	L-N2	store, kalkfattige, klare	>5	1-4	<5
	7	L-N3	store, kalkfattige, humøse	>5	1-4	5-15
	8	L-N1	store, moderat kalkrike, klare	>5	4-20	<5
	9	L-N8	store, moderat kalkrike, humøse	>5	4-20	5-15
skog 200-800 m.o.h.	10		små, svært kalkfattige, klare	<5	<1	<5
	11		små, svært kalkfattige, humøse	<5	<1	5-15
	12	L-N5	små, kalkfattige, klare	<5	1-4	<5
	13	L-N6	små, kalkfattige, humøse	<5	1-4	5-15
	14		små, moderat kalkrike, klare	<5	4-20	<5
	15		små, moderat kalkrike, humøse	<5	4-20	5-15
	16		store, svært kalkfattige, klare	>5	<1	<5
	17	L-N5	store, kalkfattige, klare	>5	1-4	<5
	18	L-N6	store, kalkfattige, humøse	>5	1-4	5-15
	19		store, moderat kalkrike, klare	>5	4-20	<5
20		store, moderat kalkrike, humøse	>5	4-20	5-15	
fjell > 800 m.o.h.	21		svært kalkfattige, klare	alle	<1	<5
	22		kalkfattige, klare	alle	1-4	<5
	23		bresjøer (turbide, kalde)	alle	1-4	<5
	24		moderat kalkrike, klare	alle	4-20	<5

I inndelingen av forsursparametre for innsjøer og elver i Veilederen er innsjøer delt opp litt annerledes enn elver. Det er tre høyderegioner, tre Ca nivåer, og tre humus (TOC) nivåer, og de 990 innsjøene brukt her er fordelt mellom disse 3x3x3=27 vanntypene (Tabell 3). Ikke alle innsjøtyper har oppgitt en referanseverdi i Veilederen. Kun de svært kalkfattige og kalkfattige ble vurdert som relevante i forhold til forsuring.

**Tabell 3.** Fordeling av 990 innsjøer i de 27 vanntypene definert ved høyde, Ca-innhold, og TOC-innhold. De innsjøtypene som har fått angitt grenseverdier for forsuringsparametre i Veilederen er merket med \*. Kriterianivåene er angitt i tabellen som 1, 2, og 3.

Kriterium	Enhet	Nivå 1	Nivå 2	Nivå 3
Høyde over havet	m	<200 «lavland»	200-800 «skog»	>800 «fjell»
Ca innholdet	mg/l	<1 «svært kalkfattige»	1-4 «kalkfattige»	>4 «kalkrike»
TOC innholdet	mgC/l	<2 «klare»	2-5 «middels»	>5 «humøse»

Gruppenr. MAGIC	Høyde	Ca	TOC	Antall innsjøer	Ref.verdi Veilederen pH og ANC
1	1	1	1	21	
2	1	1	2	14	
3	1	1	3	13	
4	1	2	1	16	*
5	1	2	2	47	*
6	1	2	3	53	*
7	1	3	1	9	
8	1	3	2	18	
9	1	3	3	21	
10	2	1	1	131	*
11	2	1	2	81	*
12	2	1	3	31	*
13	2	2	1	42	*
14	2	2	2	60	*
15	2	2	3	60	*
16	2	3	1	24	
17	2	3	2	19	
18	2	3	3	11	
19	3	1	1	200	*
20	3	1	2	15	*
21	3	1	3	3	
22	3	2	1	41	*
23	3	2	2	36	*
24	3	2	3	6	
25	3	3	1	7	
26	3	3	2	9	
27	3	3	3	2	

## 2.6 Klassegrenser for pH og ANC i innsjøer

Veilederen oppgir klassegrenser for forsuringsparametrene pH og ANC for 13 av de 27 innsjøtypene. Grensene er gjengitt i Tabell 4 og Tabell 5.

**Tabell 4.** Klassegrense for pH i innsjøer, ifølge Veilederen 1:2009 (Tabell 6.25). Grenser er ikke oppgitt for alle innsjøtyper. SG=svært god; G=god; M=moderat; D=dårlig; SD=svært dårlig.

Gruppenr. MAGIC	Høyde	Ca	TOC	Ref. verdi	SG/G	G/M	M/D	D/SD
1	1	1	1					
2	1	1	2					
3	1	1	3					
4	1	2	1	6,8	6,5	6,1	5,5	5,0
5	1	2	2	6,8	6,5	5,9	5,4	5,0
6	1	2	3	5,8	5,7	5,6	5,4	5,0
7	1	3	1					
8	1	3	2					
9	1	3	3					
10	2	1	1	6,2	6,0	5,9	5,6	5,3
11	2	1	2	6,2	6,0	5,8	5,3	5,1
12	2	1	3	5,8	5,6	5,4	5,1	4,9
13	2	2	1	6,8	6,5	6,1	5,5	5,0
14	2	2	2	6,8	6,5	5,9	5,4	5,0
15	2	2	3	5,8	5,7	5,6	5,4	5,0
16	2	3	1					
17	2	3	2					
18	2	3	3					
19	3	1	1	6,2	6,0	5,9	5,6	5,3
20	3	1	2	6,2	6,0	5,8	5,3	5,1
21	3	1	3					
22	3	2	1	6,8	6,5	6,1	5,5	5,0
23	3	2	2	6,8	6,5	5,9	5,4	5,0
24	3	2	3					
25	3	3	1					
26	3	3	2					
27	3	3	3					

**Tabell 5.** Klassegrense for ANC ( $\mu\text{ekv/L}$ ) i innsjøer, ifølge Veilederen 1:2009 (Tabell 6.29). Grenser er ikke oppgitt for alle innsjøtyper. SG=svært god; G=god; M=moderat; D=dårlig; SD=svært dårlig.

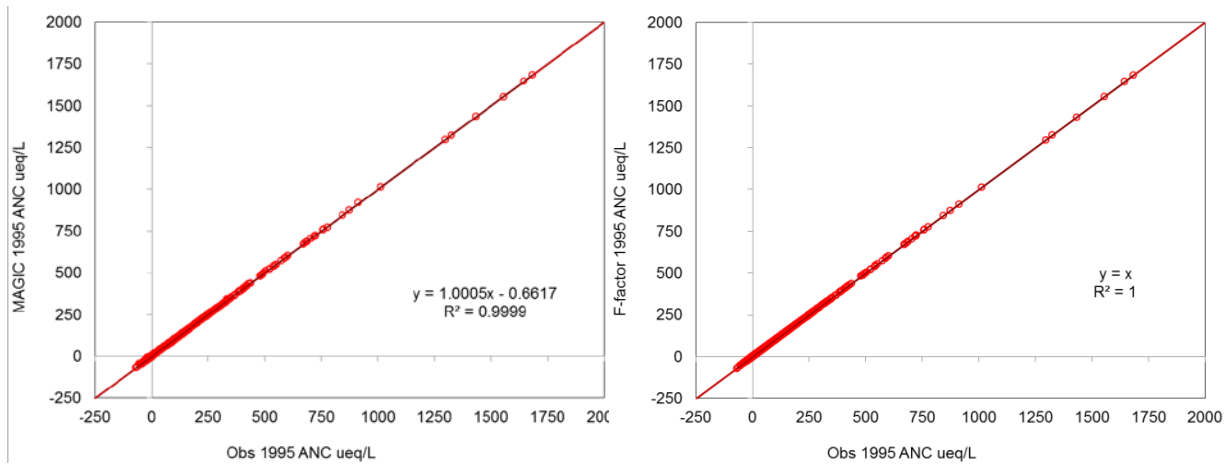
Gruppenr. MAGIC	Høyde	Ca	TOC	Ref. verdi	SG/G	G/M	M/D	D/SD
1	1	1	1					
2	1	1	2					
3	1	1	3					
4	1	2	1	120	80	20	-10	-45
5	1	2	2	120	80	30	10	-15
6	1	2	3	90	40	40		
7	1	3	1					
8	1	3	2					
9	1	3	3					
10	2	1	1	40	30	20	0	-10
11	2	1	2	50	40	25	10	0
12	2	1	3	60	45	35	20	10
13	2	2	1	120	80	20	-10	-45
14	2	2	2	120	80	30	10	-15
15	2	2	3	90	40	40		
16	2	3	1					
17	2	3	2					
18	2	3	3					
19	3	1	1	40	30	20	0	-10
20	3	1	2	50	40	25	10	0
21	3	1	3					
22	3	2	1	120	80	20	-10	-45
23	3	2	2	120	80	30	10	-15
24	3	2	3					
25	3	3	1					
26	3	3	2					
27	3	3	3					



### 3. Resultater

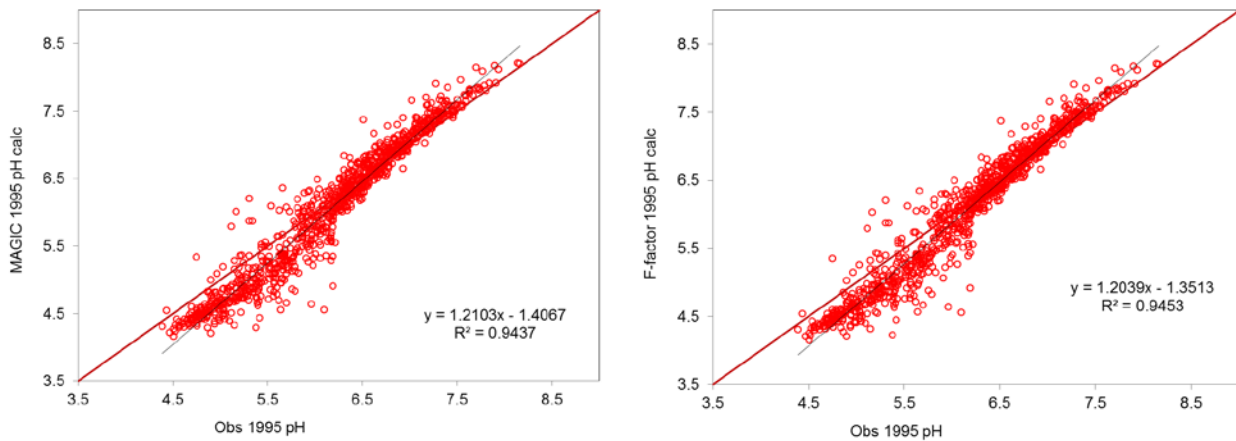
#### 3.1 ANC og pH ved MAGIC og F-faktor

Som ventet er de kalibrerte og målte ANC verdiene for 1995 like for begge modellene (**Figur 1**). Dataene viser et stort spenn i ANC fra -40 til 1700  $\mu\text{ekv/L}$ .



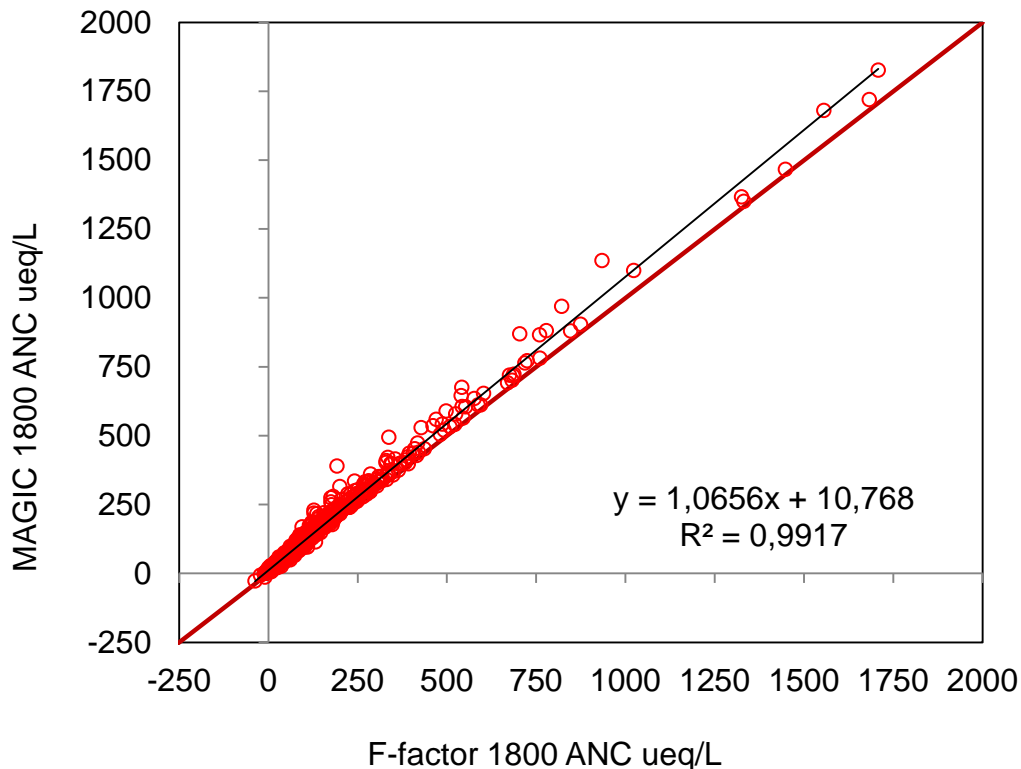
**Figur 1.** ANC i 1995 observert og simulert i de 990 innsjøene.

pH blir beregnet ut fra ANC på samme måte for begge modellene. Siden ANC var tilnærmet lik i 1995, er beregnet pH MAGIC lik beregnet pH F-faktor for 1995. Det er imidlertid et klart systematisk avvik mellom modellert og observert pH i 1995 (**Figur 2**). Ved pH lavere enn 6.3 er beregnet pH litt lavere enn observert for de fleste innsjøer. Avviket er ikke korrelert til TOC-innholdet, men skyldes trolig at enten organiske syrer er overestimert og/eller at  $\text{Al}^{n+}$  er underestimert.



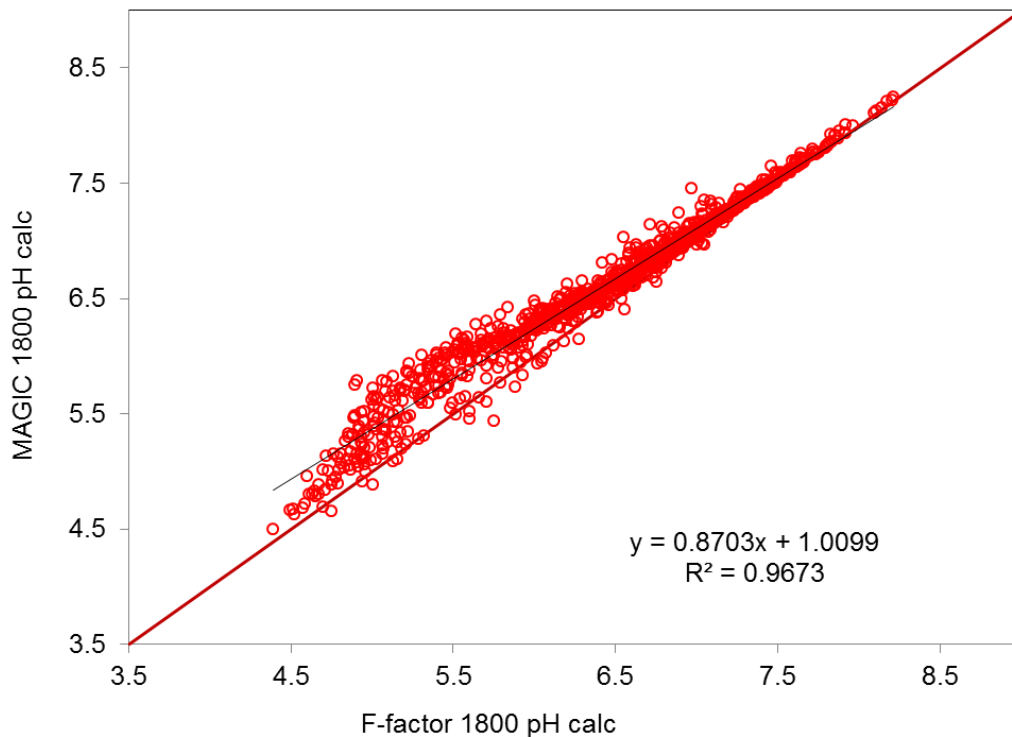
**Figur 2.** pH i 1995 observert og simulert i de 990 innsjøene.

MAGIC og F-faktor gir nesten like simulerte ANC verdier for år 1800 (før forsuring) (Figur 3). MAGIC gir dog litt høyere opprinnelig ANC enn F-faktor modellen. Dette skyldes trolig de ulike måtene modellene behandler kationbyttning i jordsmonnet over tid. Mens MAGIC er en tids-dynamisk modell som tar hensyn til langtidsutvasking av basekationer fra jordsmonnet, er F-faktor modellen en statisk modell, som antar at graden av kationbyttning ikke endrer seg over tid. MAGIC tar altså hensyn til at forsuring fører til lavere basemetningsgrad i jorda. Utfallet er at MAGIC simulerer litt høyere basemetningsgrad i år 1800, og dermed litt høyere ANC i 1800.



**Figur 3.** ANC i år 1800 (før forsuring) for de 990 innsjøene simulert ved MAGIC og F-faktor modellene.

Beregnet pH for år 1800 er også litt høyere ved MAGIC enn ved F-faktor modellen (Figur 4). Dette skyldes forskjeller i simulert ANC 1880. pH beregnes ut fra ANC på samme måte for begge modellene.

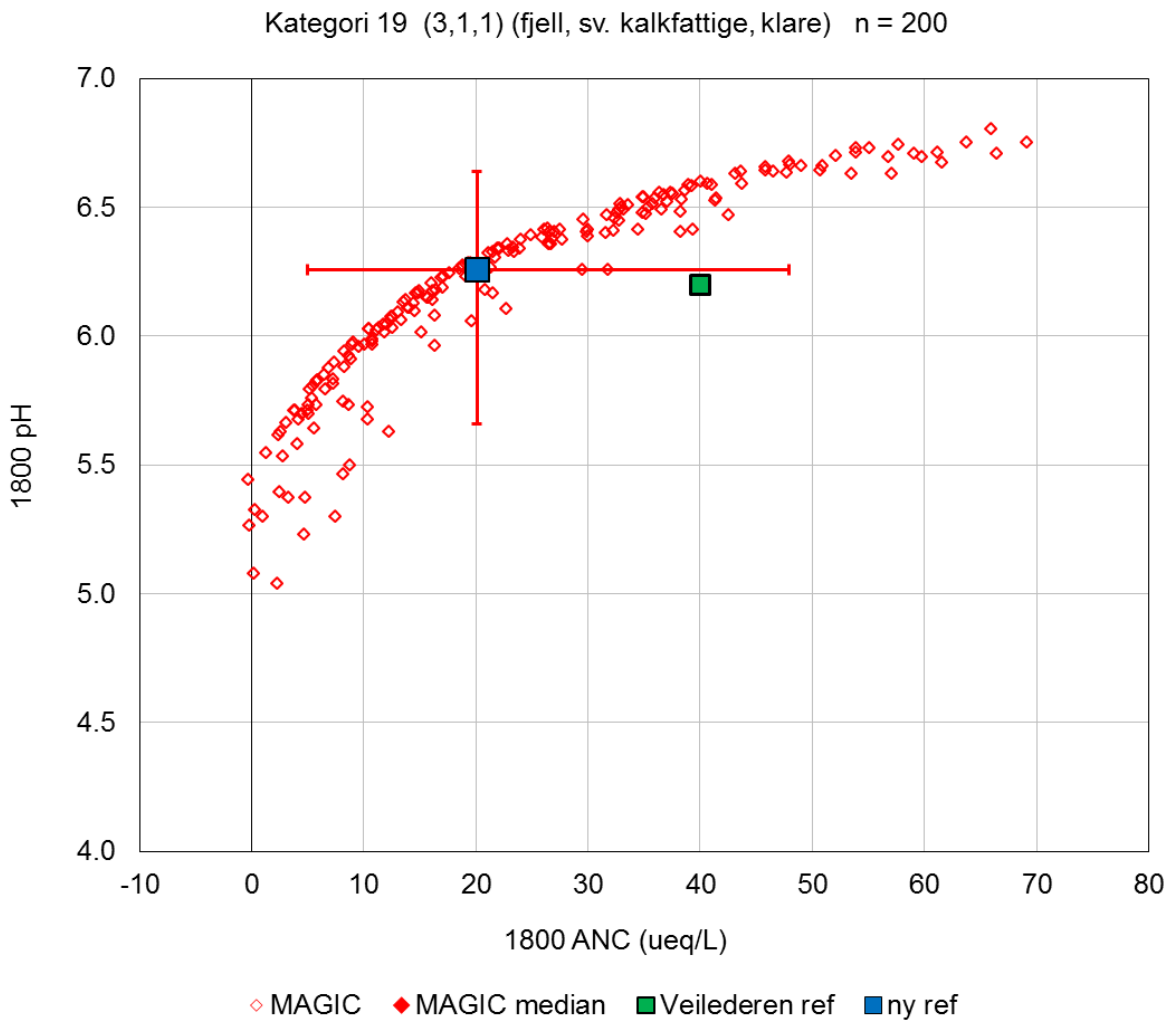


**Figur 4.** pH i år 1800 (før forsuring) for de 990 innsjøene simulert ved MAGIC og F-faktor modellene.

### 3.2 Modellert ANC og pH 1800 i forhold til referanseverdiene i Veilederen

Veilederen oppgir referanseverdier for 13 av de 27 innsjøtypene. De innsjøtypene som ikke har oppgitte verdier er de 9 kalkrike typene (som opplagt ikke er interessante i forsuringssammenheng); de 3 lavlands, svært kalkfattige typene; den svært kalkfattige, humøse innsjøtypen (fjell); og den kalkfattige, humøse typen (fjell). De siste 2 typene er sjeldne i Norge, og kun representert med henholdsvis 3 og 6 av de 990 innsjøene vist i Tabell 3..

Innen hver innsjøtype er spredningen av MAGIC modellert pH1800 og ANC1800 stor. Dette skyldes de grove inndelingene av Ca gruppene. For de svært kalkfattige innsjøtypene er referanseverdiene i Veilederen vesentlig høyere enn beregnet opprinnelige verdier for de fleste innsjøene. For den største innsjøtypen (fjell, svært kalkfattige, klare) som i undersøkelsen er representert ved 200 innsjøer (i Veilederen vanntype 21; her nummer 19: 3,1,1), har de fleste innsjøene pH1800 og ANC1800 lavere enn referanseverdiene i Veilederen (henholdsvis pH 6,2 og ANC 40  $\mu\text{ekv/L}$ ) (**Figur 5**).



**Figur 5.** Beregnet pH1800 og ANC1800 for de 200 innsjøene i kategori 19 (fjell, svært kalkfattige, klare). Median, samt 10 % -ilen og 90 % -ilen er vist. Det blir også vist Veilederens referanseverdi for vanntypen (grønn firkant) og forslag til ny referanseverdi (blå firkant).

Tilsvarende figurer for de andre innsjøtypene er vist i Vedlegg A.

### 3.3 Forslag til nye referanseverdier for innsjøtypene

Den store spredningen i pH1800 og ANC1800 selv innen de enkelte innsjøtypene gjør det vanskelig å sette referanseverdier per innsjøtype. En innsjø-spesifikk metode ville derfor være bedre. Hvis det likevel skal settes referanseverdier per innsjøtype, kan de MAGIC estimerte før-forsuring ANC og pH verdiene for innsjøene innen hver innsjøtype benyttes (Tabell 6 og Tabell 7)). Å velge medianverdien vil bety at minst 50 % av innsjøene innen en innsjøtype ikke vil kunne oppnå tilstanden dersom tilførsel av sur nedbør reduseres til null.

Valg av medianen innebærer også at SG/G og G/M grensene oppgitt i Veilederen vil være høyere enn de nye referanseverdiene for de svært kalkfattige innsjøtypene (Tabell 6 og Tabell 7). Dette kan gi en indikasjon på at også disse grensene bør revideres, eller bestemmes innsjø-spesifikt.

**Tabell 6.** Forslag til nye referanseverdier for ANC ( $\mu\text{ekv/L}$ ) for de 27 innsjøtypene (merket i blått). Verdiene er median for innsjøer innen hver innsjøtype.

Gruppenr. MAGIC	Høyde	Ca	TOC	Antall innsjøer	Ref. ANC Veiledere (gamle)	Ref. ANC Median (ny)	G/M ANC Veilederen
1	1	1	1	21		42	
2	1	1	2	14		41	
3	1	1	3	13		66	
4	1	2	1	16	120	78	20
5	1	2	2	47	120	117	30
6	1	2	3	53	90	140	40
7	1	3	1	9		360	
8	1	3	2	18		499	
9	1	3	3	21		532	
10	2	1	1	131	40	23	20
11	2	1	2	81	50	28	25
12	2	1	3	31	60	43	35
13	2	2	1	42	120	101	20
14	2	2	2	60	120	138	30
15	2	2	3	60	90	116	40
16	2	3	1	24		324	
17	2	3	2	19		428	
18	2	3	3	11		409	
19	3	1	1	200	40	20	20
20	3	1	2	15	50	52	25
21	3	1	3	3		43	
22	3	2	1	41	120	86	20
23	3	2	2	36	120	133	30
24	3	2	3	6		133	
25	3	3	1	7		401	
26	3	3	2	9		317	
27	3	3	3	2		329	

**Tabell 7.** Forslag til nye referanseverdier for pH for de 27 innsjøtypene (merket i blått). Verdiene er median for innsjøer innen hver innsjøtype. I et tilfelle er referanseverdien lavere enn G/M grensen (merket med \*).

Gruppenr. MAGIC	høyde	Ca	TOC	Antall innsjøer	Ref. pH Veiledere (gamle)	Ref. pH median (ny)	G/M pH Veilederen
1	1	1	1	21		6,5	
2	1	1	2	14		6,2	
3	1	1	3	13		5,7	
4	1	2	1	16	6,8	6,8	6,1
5	1	2	2	47	6,8	6,9	5,9
6	1	2	3	53	5,8	6,8	5,6
7	1	3	1	9		7,5	
8	1	3	2	18		7,7	
9	1	3	3	21		7,6	
10	2	1	1	131	6,2	6,2	5,9
11	2	1	2	81	6,2	5,8	5,8
12	2	1	3	31	5,8	5,3*	5,4
13	2	2	1	42	6,8	7,0	6,1
14	2	2	2	60	6,8	7,1	5,9
15	2	2	3	60	5,8	6,7	5,6
16	2	3	1	24		7,5	
17	2	3	2	19		7,6	
18	2	3	3	11		7,5	
19	3	1	1	200	6,2	6,3	5,9
20	3	1	2	15	6,2	6,4	5,8
21	3	1	3	3		5,7	
22	3	2	1	41	6,8	6,9	6,1
23	3	2	2	36	6,8	7,0	5,9
24	3	2	3	6		6,8	
25	3	3	1	7		7,6	
26	3	3	2	9		7,5	
27	3	3	3	2		7,4	

## 4. Diskusjon

### 4.1 Hvorfor så mye spredning innen de enkelte innsjøkategoriene?

Hovedgrunnen for at spredning i opprinnelig ANC og pH er så stor innenfor de enkelte innsjøkategoriene er at oppdeling i Ca-områder er for grove.

De simulerte verdiene for ANC og pH for år 1800 viser størst spredning for innsjøer som er klassifisert «svært kalkfattige» ( $\text{Ca} < 1 \text{ mg/L}$ , tilsvarer  $50 \text{ } \mu\text{ekv/L}$ ) og klare ( $\text{TOC} < 2 \text{ mg C/L}$ ). De svært kalkfattige innsjøene har Ca konsentrasjoner fra ca. 10 til (per definisjon)  $50 \text{ } \mu\text{ekv/L}$ . Dermed er spredning i ANC1800 ca.  $40 \text{ } \mu\text{ekv/L}$ . Disse innsjøene har meget lave konsentrasjoner av bikarbonat og organiske anioner, og har dermed meget svak bufferkapasitet. De ligger i området hvor små endringer i ANC gir store endringer i pH. Opprinnelig ANC er  $-10\text{-}70 \text{ } \mu\text{ekv/L}$  og pH 5,0 – 6,8.

Mange norske innsjøer er svært kalkfattige og klare. Av de 990 innsjøer som inngår i undersøkelsen, er 352 av denne typen, og det er disse som har vært hardest rammet av forsurening.

De kalkfattige klare innsjøene har Ca konsentrasjoner på  $1\text{-}4 \text{ mg/L}$ , som tilsvarer  $50\text{-}200 \text{ } \mu\text{ekv/L}$ . Spennet i ANC er tilsvarende stor (opprinnelig ANC  $40\text{-}260 \text{ } \mu\text{ekv/L}$ ), men pH er relativt sett bedre bufret, med opprinnelig pH 6,0 – 7,4.

### 4.2 Hvordan bestemmes referanseverdiene i Sverige?

I Sverige har Naturvårdsverket (2007) offisielt publisert en forskrift for bedømmelse av forsurening av innsjøer av (Bilaga A, Kapittel 14, s. 118-125). Forsureningspåvirkning klassifiseres som avvik i pH fra en referansetilstand. Referansetilstanden beregnes spesifikk for hver innsjø. Beregning gjøres ved hjelp av MAGIC modellen. Dersom underlag for MAGIC mangler, så benyttes «MAGIC-biblioteket» (<http://www.ivl.se/magicbibliotek>). MAGIC-biblioteket er et nett-basert verktøy med lagrede MAGIC-analyser for flere tusen svenske innsjøer. Ved hjelp av biblioteket finner man de innsjøene som ligner mest på den aktuelle innsjøen, og får dermed et estimat over forsureningsforløpet siden før-industriell tid. Grunnideen med MAGIC-biblioteket er at innsjøer som i dag er like med hensyn på forsureningsrelevante parametre, også har hatt en lignende utvikling av vannkjemi de siste 200 årene.

Relevante parametre som brukes til å «matche» en innsjø er:

- pH,  $\text{SO}_4$ , Cl, Ca, Mg, og TOC (eller DOC) for et år etter 1990
- breddegrad og lengdegrad
- innsjøens areal (ha)
- spesifikk avrenningsmengde ( $\text{m}^3/\text{år}$ )

Innsjøene i MAGIC-biblioteket har målt eller simulert ANC for hvert år 1990-2010, samt simulert ANC for år 1860 (antatt før forsurening tok til). pH beregnes fra ANC i biblioteket ved hjelp av den samme metoden som blir benyttet i denne undersøkelsen, altså ut fra antagelser i forhold til  $\text{pCO}_2$ , TOC og  $\text{pK}'\text{s}$  for organiske syrer, og at  $\text{Al}^{\text{III}}$  i 1860 er null. En beregningsmetode i Excel format finnes på Naturvårdsverkets hjemmeside (Fölster 2006).

Klassegrensene settes så i forhold til beregnede endring i pH fra «før-forsuring» til i dag (Tabell 8). Det vil si at man i Sverige har valgt en innsjø-spesifikk metode. Det svenske system bryter dermed Vanddirektivets inndeling i innsjøtyper og spesifisering av klassegrenser innenfor hver innsjøtype.

**Tabell 8.** Svensk klassifisering av status for forsuring av innsjøer. Kilde: Naturvårdsverket (2007)

Klasse	pH endring fra 1860 til i dag	Status
1	< 0,2	Høy
2	0,2-0,4	God
3	0,4-0,6	Moderat
4	0,6-0,8	Utilfredsstillende
5	>0,8	Dårlig

### 4.3 Kompatibilitet mellom Veilederen og tålegrenser

I forbindelse med arbeidet innen langtransportkonvensjonen (LRTAP) har Norge i mange år levert data til CCE (Coordinating Centre for Effects, en del av konvensjonens Working Group on Effects) for tålegrenser og overskridelser av tålegrenser i forhold til forsuring av overflatevann (Larssen et al. 2008b). Disse dataene blir brukt i forbindelse med forhandling av grenser for utslipp av svovel- og nitrogenforbindelser til luft i Europa (Posch et al. 2011).

De norske tålegrensene er beregnet ved hjelp av SSWC og FAB modellene. Begge modellene tar utgangspunkt i F-faktor modellen (Henriksen and Posch 2001). Koblingen til biologisk respons gjøres ved å fastsette «ANC<sub>limit</sub>», definert som den laveste ANC hvor uønskede biologiske effekter ikke forekommer. Norge har brukt empiriske forhold mellom vannkjemi og ørretbestand i flere hundre innsjøer som grunnlag for å fastsette ANC<sub>limit</sub> (Lien et al. 1996, Henriksen et al. 1999). ANC<sub>limit</sub> bestemmes innsjø-spesifikt og varierer fra ca. 0-20 µekv/L. Den er lavest i innsjøene med det laveste Ca-innholdet. I senere år har ANC<sub>limit</sub> blitt modifisert for å ta hensyn til varierende innhold av humus i innsjøene (Lydersen et al. 2004, Hesthagen et al. 2008). Tålegrenseberegninger viser at hvis antropogen S og N deponisjon settes lik null, vil nesten alle innsjøer i Norge få ANC over ANC<sub>limit</sub>, og vil dermed kunne ha gode ørretbestander.

ANC<sub>limit</sub> kan betraktes som ekvivalent til klassegrensen mellom «god» og «moderat» tilstand (G/M) i Vanddirektivet. I Veilederen er imidlertid ANC klassegrensene G/M for noen av innsjøtypene høyere enn 20 µekv/L. Det betyr at det er en potensiell konflikt mellom Norges offisielle holdning innen LRTAP konvensjonen og arbeidet innen Vanddirektivet. I følge LRTAP vil de aller fleste norske innsjøer kunne ha «god» ørretbestand hvis tilførsler av S og N reduseres til under tålegrensen, mens de samme innsjøer vil klassifiseres som «moderat» i forhold til klassegrensene oppgitt i Veilederen.



## 5. Konklusjoner og anbefalinger

### 5.1 Konklusjoner

- De to metodene for beregning av referansetilstand (MAGIC og F-faktor) gir omtrent like estimat av forsuringsparametrene ANC og pH.
- MAGIC gir litt høyere beregnet ANC1800 og pH1800 fordi modellen tar hensyn til utarming av basekationer i jordsmonnet over tid.
- Inndeling av innsjøer i tre nivåer med hensyn på Ca-innholdet er veldig grovt. Innenfor hvert Ca-område er det stor spenn i beregnet ANC1800 og pH1800. Det er derfor vanskelig å spesifisere en referanseverdi for ANC og pH som gjelder for alle innsjøer av en gitt innsjøtype.
- En stor andel av innsjøene hadde vesentlig lavere verdier for før-forsuring ANC og pH enn referanseverdiene oppgitt i Veilederen. Dette gjelder spesielt de svært kalkfattige vanntypene.
- For mange innsjøer er før-forsuring ANC og pH også lavere enn grensen for god/moderat tilstand oppgitt i Veilederen.

### 5.2 Anbefalinger

- En innsjø-spesifikk prosedyre bør brukes for å anslå referanseverdiene for ANC og pH.
  - MAGIC modellen anvendes direkte hvis mulig.
  - MAGIC analyser for norske innsjøer bør legges inn i det svenske MAGIC-biblioteket, slik at referansetilstanden for en gitt innsjø kan fås ved bruk av MAGIC-biblioteket. Dette vil også være fordelaktig for innsjøer som ligger nært svenske grensen, fordi disse da vil kunne «matches» med både norske og svenske innsjøer.
  - Alternativt beregnes referansetilstanden ved hjelp av F-faktor modellen, som beskrevet i Hindar and Wright (2002).
  - Hvis en innsjø-spesifikk prosedyre benyttes, så bør også SG/G og G/M grensene være innsjø-spesifikk.
- Hvis referanseverdiene likevel skal settes for hver innsjøtype, så kan disse være median av pH1800 og ANC1800 for innsjøene innenfor hver innsjøtype.

## 6. Referanser

- Cosby, B. J., R. C. Ferrier, A. Jenkins, and R. F. Wright. 2001. Modelling the effects of acid deposition: refinements, adjustments and inclusion of nitrogen dynamics in the MAGIC model. *Hydrology and Earth System Sciences* **5**:499-518.
- Cosby, B. J., G. M. Hornberger, J. N. Galloway, and R. F. Wright. 1985a. Modelling the effects of acid deposition: assessment of a lumped parameter model of soil water and streamwater chemistry. *Water Resources Research* **21**:51-63.
- Cosby, B. J., R. F. Wright, G. M. Hornberger, and J. N. Galloway. 1985b. Modelling the effects of acid deposition: estimation of long term water quality responses in a small forested catchment. *Water Resources Research* **21**:1591-1601.
- Direktoratsgruppa-vanndirektivet. 2009. Veileder 01:2009 Klassifisering av miljøtilstand i vann. Økologisk og kjemisk klassifiseringssystem for kystvann, innsjøer og elver i henhold til vannforskriften. Direktoratet for Naturforvaltning, Trondheim (in Norwegian).
- Fölster, J. 2006. Bedömningsgrunder för försurning i sjöar och vattendrag. . Institutionen för Miljöanalys, Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala (in Swedish).
- Fölster, J., C. Andren, K. Bishop, I. Buffam, N. Cory, W. Goedkoop, K. Holmgren, R. Johnson, H. Laudon, and A. Wilander. 2007. A novel environmental quality criterion for acidification in Swedish lakes -- an application of studies on the relationship between biota and water chemistry. *Water Air Soil Pollution. Focus* **7**:331-338.
- Henriksen, A. 1980. Acidification of freshwaters -- a large scale titration. Pages 68-74 in D. Drabløs and A. Tollan, editors. *Ecological Impact of Acid Precipitation*. SNSF project, Oslo.
- Henriksen, A., and A. K. Buan. 2000. Tålegrenser og overskridelse av tålegrenser for overflatevann, skogsjord og vegetasjon i Norge. SNO 4179-2000, Norwegian Institute for Water Research, Oslo.
- Henriksen, A., E. Fjeld, and T. Hesthagen. 1999. Critical load exceedance and damage to fish populations. *Ambio* **28**:583-586.
- Henriksen, A., A. Hindar, H. Styve, E. Fjeld, and L. Lien. 1996. Forsuring av overflatevann -- beregningsmetodikk, trender og mottiltak. Rapport 3528-96. Norwegian Institute for Water Research, Oslo.
- Henriksen, A., and M. Posch. 2001. Steady-state models for calculating critical loads of acidity for surface waters. *Water Air and Soil Pollution: Focus* **1**:375-398.
- Hesthagen, T., P. Fiske, and B. L. Skjelkvale. 2008. Critical limits for acid neutralizing capacity of brown trout (*Salmo trutta*) in Norwegian lakes differing in organic carbon concentrations. *Aquatic Ecology* **42**:307-316.
- Hesthagen, T., A. Fjellheim, A. K. Schartau, R. F. Wright, R. Saksgård, and B. O. Rosseland. 2011. Chemical and biological recovery of Lake Saudlandsvatn, a highly acidified lake in southernmost Norway, in response to decreased acid deposition. *Sci. Tot. Environ.* **409**:2908-2916.
- Hindar, A., and R. F. Wright. 2002. Beregning av opprinnelig vannkjemi i forsurrede innsjøer - uttesting av en regnemodell. NIVA-rapport 4546-2002, NIVA, Oslo, Norway.
- Hindar, A., and R. F. Wright. 2005. Long-term records and modelling of acidification, recovery, and liming at Lake Hovvatn, Norway. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **62**:2620-2631.
- Hruška, J., S. Kohler, H. Laudon, and K. Bishop. 2003. Is a universal model of organic acidity possible: Comparison of the acid/base properties of dissolved organic carbon in the boreal and temperate zones. *Environmental Science and Technology* **37**:1726-1730.

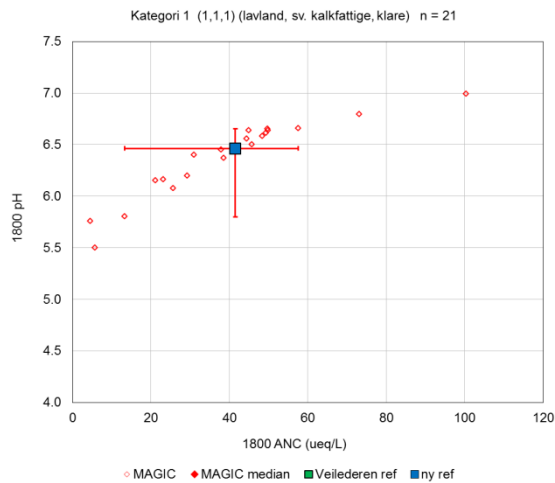
- Larssen, T., B. J. Cosby, T. Høgåsen, E. Lund, and R. F. Wright. 2008a. Dynamic modelling of acidification of Norwegian surface waters. Report 5705-2008., Norwegian Institute for Water Research, Oslo.
- Larssen, T., B. J. Cosby, E. Lund, and R. F. Wright. 2010. Modeling future acidification and fish populations in Norwegian surface waters. *Environmental Science & Technology* **44**: 5345–5351.
- Larssen, T., E. Lund, and T. Høgåsen. 2008b. Overskridelser av tålegrenser for forsuring og nitrogen for Norge -- oppdatering med perioden 2002-2006. Rapport 5697-2008. NIVA, Oslo.
- Lien, L., G. G. Raddum, A. Fjellheim, and A. Henriksen. 1996. A critical limit for acid neutralizing capacity in Norwegian surface waters, based on new analyses of fish and invertebrate responses. *Science of the Total Environment* **177**:173-193.
- Lydersen, E., T. Larssen, and E. Fjeld. 2004. The influence of total organic carbon (TOC) on the relationship between acid neutralizing capacity (ANC) and fish status in Norwegian lakes. *Science of the Total Environment* **362**:63-69.
- Naturvårdsverket. 2007. Bedömningsgrunder for sjöar och vattendrag. Handbok 2007:4. Stockholm (in Swedish).
- Posch, M., J. Slootweg, and J.-P. Hettelingh, editors. 2011. The CCE Status Report 2011. Modelling Critical Threshold and Temporal Changes of Geochemistry and Vegetation Diversity Coordination Centre for Effects, Bilthoven, the Netherlands.
- Skjelkvåle, B. L., A. Henriksen, B. Faafeng, E. Fjeld, T. S. Traaen, L. Lien, E. Lydersen, and A. K. Buan. 1996. Regional innsjøundersøkelse 1995. En vannkjemisk undersøkelse av 1500 norske innsjøer. 677/96, Statens forurensningstilsyn, Oslo, Norway.
- Solheim, A., and A. K. Schartau. 2004. Revidert typologi for norske elver og innsjøer. Norsk institutt for vannforskning (NIVA) Rapport 4888-2004, Oslo.
- Solheim, A. L., D. Berge, T. Tjomsland, F. Kroglund, I. Tryland, T. Hesthagen, H. Borch, E. Skarbøvik, H. O. Eggestad, and A. Engebretsen. 2008. Forslag til miljømål og klassgrenser for fysisk-kjemiske parametre i innsjøer og elver, inkludert leirvassdrag og kriterier for egnethet for brukerinteresser. NIVA Rapport 5708-2008. Norsk institutt for vannforskning, Oslo.
- Wright, R. F., T. Larssen, L. Camarero, B. J. Cosby, R. C. Ferrier, R. C. Helliwell, M. Forsius, A. Jenkins, J. Kopáček, V. Majer, F. Moldan, M. Posch, M. Rogora, and W. Schöpp. 2005. Recovery of acidified European surface waters. *Environmental Science & Technology* **39**:64A-72A.

## Vedlegg A. Beregnet pH1800 og ANC1800

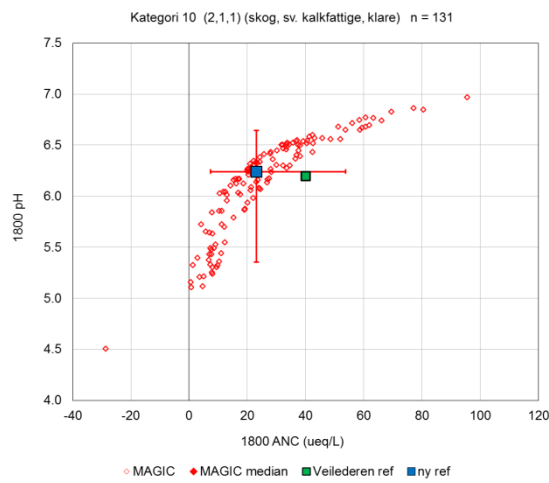
Beregnet pH1800 og ANC1800 for innsjøer i vanntyper «svært kalkfattige» og «kalkfattige». Median samt 10 % -ilen og 90 % -ilen er vist. Også vist er Veilederens referanseverdi for vanntypen (hvis oppgitt i Veilederen) (grønn firkant) og forslag her til ny referanseverdi (blå firkant).

### Svært kalkfattige, klare

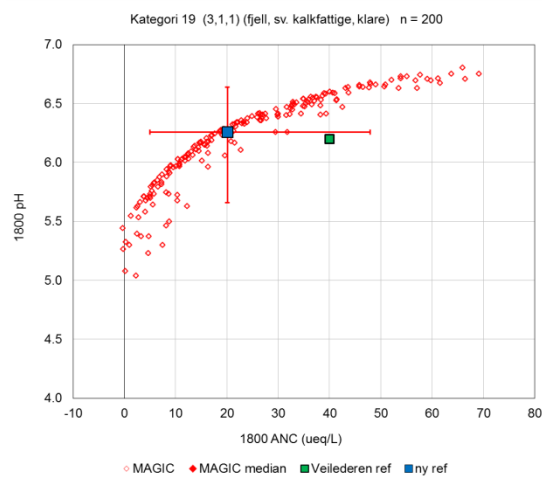
lavland



skog

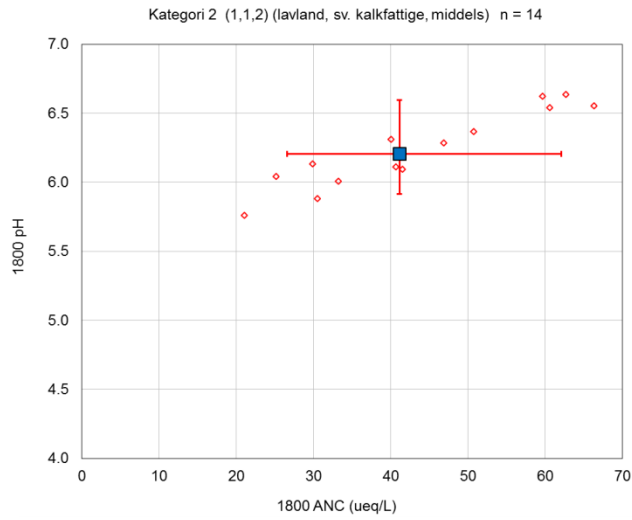


fjell

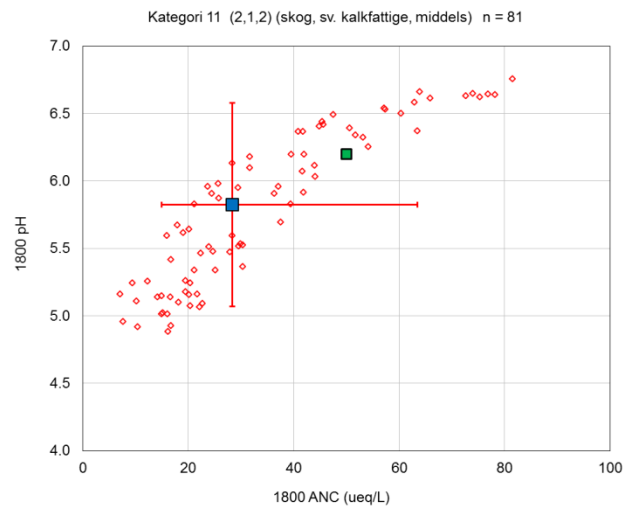


### Svært kalkfattige, middels

lavland

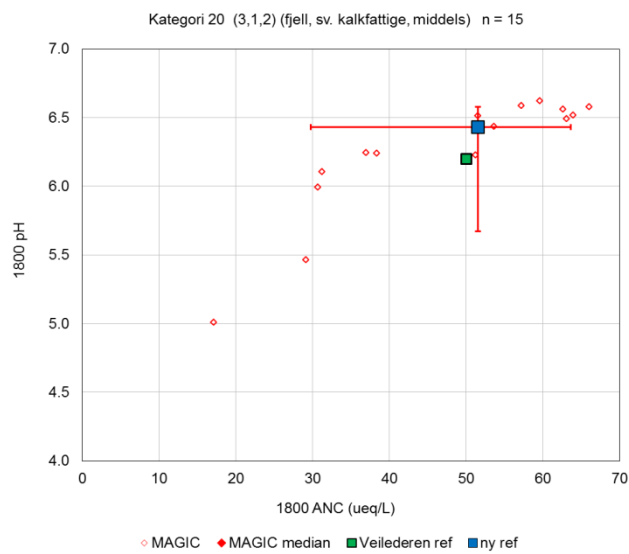


skog



◇ MAGIC ◆ MAGIC median ■ Veilederen ref ■ ny ref

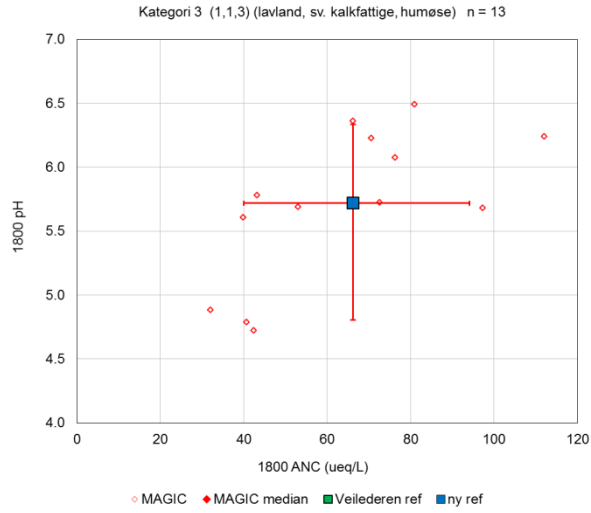
fjell



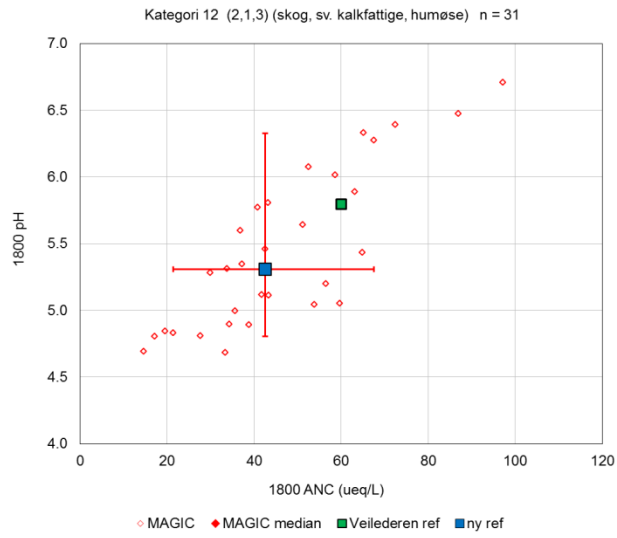
◇ MAGIC ◆ MAGIC median ■ Veilederen ref ■ ny ref

### Svært kalkfattige, humøse

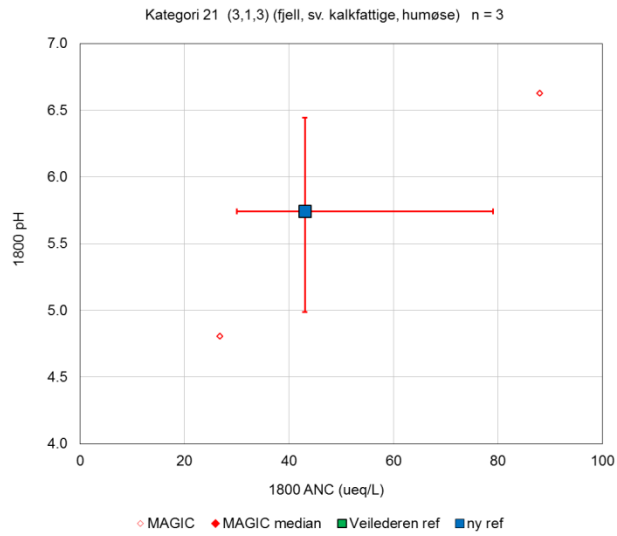
lavland



skog

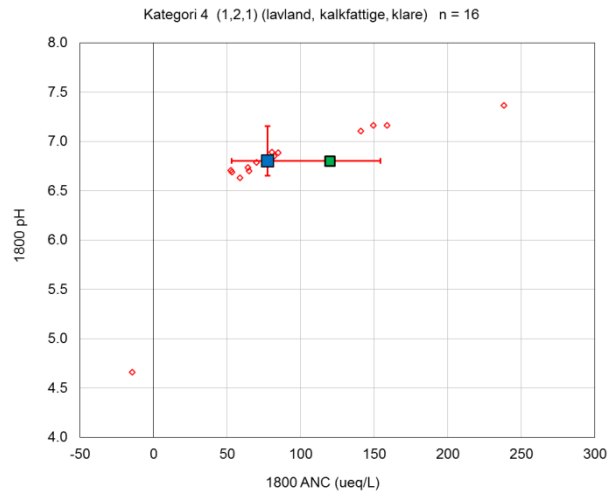


fjell

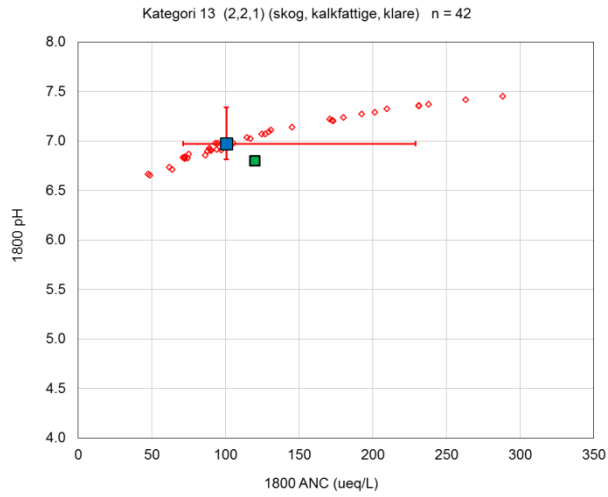


### Kalkfattige, klare

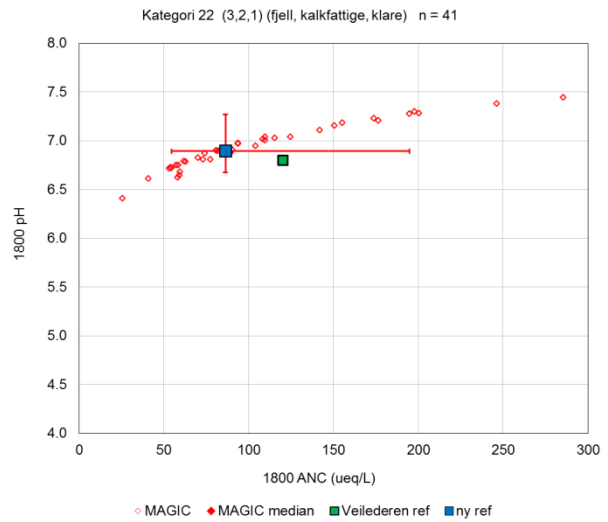
lavland



skog

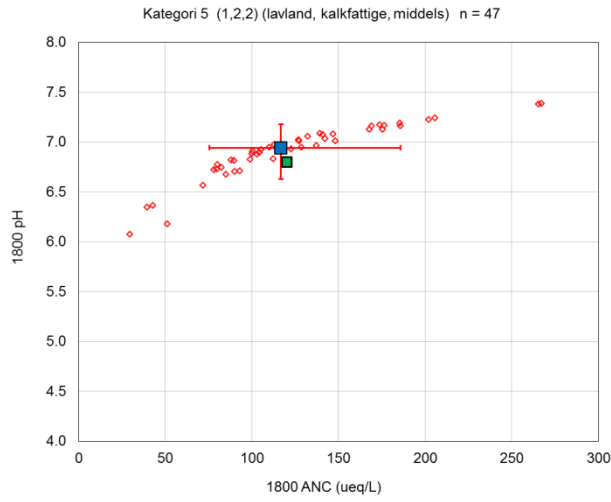


fjell

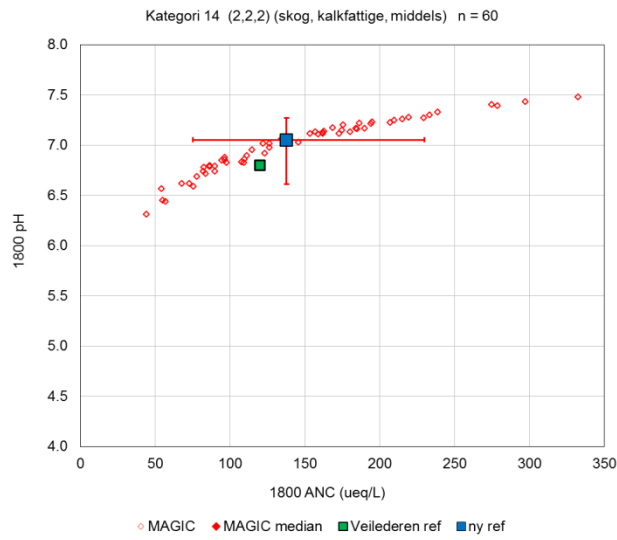


### Kalkfattige, middels

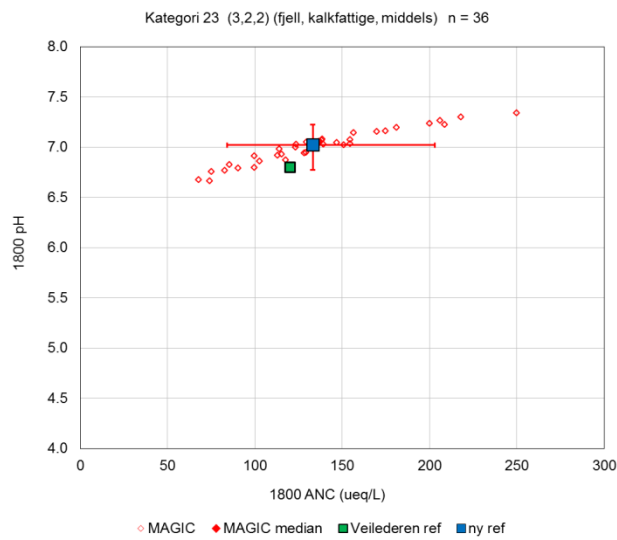
lavland



skog



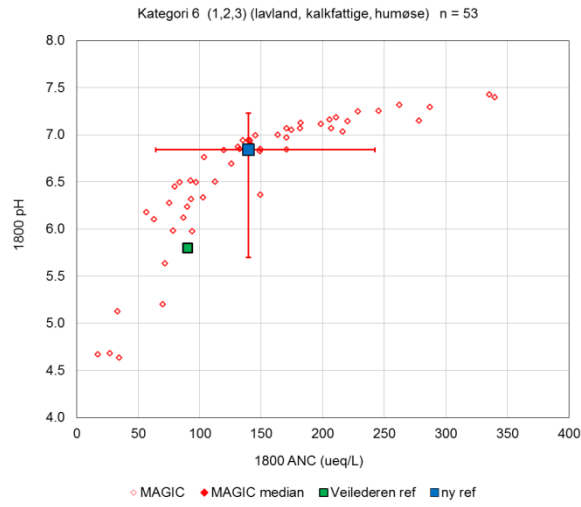
fjell



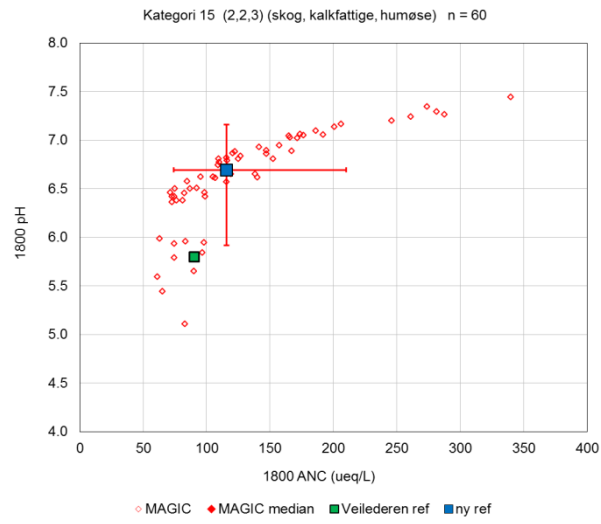


### Kalkfattige, humøse

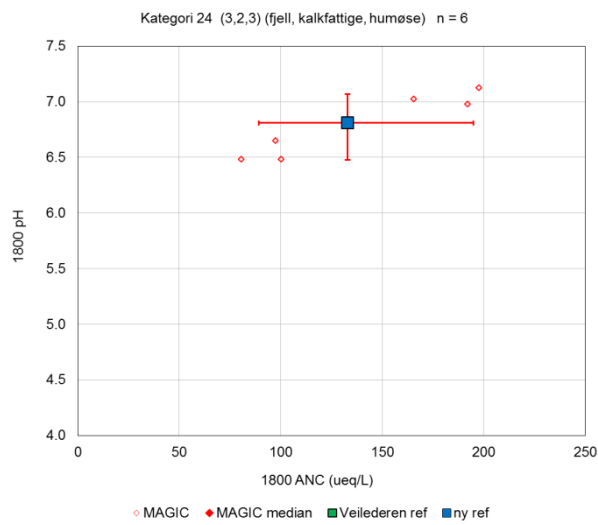
lavland



skog



fjell



NIVA: Norges ledende kompetansesenter på vannmiljø

NIVA gir offentlig vannforvaltning, næringsliv og allmennheten grunnlag for god vannforvaltning gjennom oppdragsbasert forsknings-, utrednings- og utviklingsarbeid. NIVA kjennetegnes ved stor faglig bredde og godt kontaktnett til fagmiljøer i inn- og utland. Faglig tyngde, tverrfaglig arbeidsform og en helhetlig tilnæringsmåte er vårt grunnlag for å være en god rådgiver for forvaltning og samfunnsliv.



Norsk institutt for vannforskning

Gaustadalléen 21 • 0349 Oslo  
Telefon: 02348 • Faks: 22 18 52 00  
[www.niva.no](http://www.niva.no) • [post@niva.no](mailto:post@niva.no)