



Typanpassning av referenssjöar och vattendrag: En granskning av den föreslagna svenska sötvattenstypologin avseende bottenfauna

by

Richard K. Johnson och Willem Goedkoop

Typanpassning av referenssjöar och vattendrag:
En granskning av den föreslagna svenska
sötvattenstypologin avseende bottenfauna

ISSN 1403-977x

Innehållsförteckning

Innehållsförteckning.....	2
1 Sammanfattning	3
2 Inledning.....	5
1 Metoder.....	5
1.1 Dataunderlag	5
1.2 Definition av referensförhållanden.....	5
1.3 Klassificering av sjöar och vattendrag enligt föreslagen svensk typologi.....	8
1.4 Statistiska metoder.....	8
2 Resultat	9
2.1 Litoralfauna i sjöar (Riksinventeringen 2000)	9
2.1.1 Klassificering av riksinventeringssjöar med litoralfauna.....	9
2.1.2 TWINSPAN gruppering.....	11
2.1.3 Diskriminantanalys	12
2.1.4 Jämförelse av föreslagen svensk typologi och TWINSPAN (fyra grupper)	13
2.2 Bottenfauna sjöars profundal (referenssjöar)	16
2.2.1 Klassificering av referenssjöar.....	16
2.2.2 TWINSPAN gruppering.....	17
2.2.3 Diskriminantanalys	19
2.2.4 Jämförelse av föreslagen svensk typologi och TWINSPAN (tre grupper)	20
2.3 Bottenfauna i vattendrag (Riksinventeringen 2000).....	22
2.3.1 Klassificering av vattendrag med avseende på bottenfauna	22
2.3.2 TWINSPAN gruppering.....	23
2.3.3 Diskriminantanalys	24
2.3.4 Jämförelse av föreslagen svensk typologi och TWINSPAN (sex grupper)	25
3 Referenser	28

1 Sammanfattning

Att beskriva komplexa biologiska samhällen med ett fåtal morfologiska och geokemiska typologivariabler är en svår uppgift. Man kan anta att dessa typologivariabler i vis utsträckning delar in sjöar eller vattendrag i överensstämmelse med en indelning som grundar sig på biologiska kvalitetsfaktorer. I denna analys har vi jämfört hur väl en klassning enligt typologivariablerna stämmer överens med en biologisk klassificering baserad på bottenfaunan.

Typologivariablerna har valts utifrån kunskap om de mest betydelsefulla morfologiska och geokemiska förutsättningarna för biotan i sjöar och vattendrag. Vissa variabler kan därmed vara betydelsefulla för en biologisk kvalitetsfaktor, men vara av mindre betydelse för en annan. Till exempel är vattenfärgen av stor betydelse för växtplankton, men av mindre betydelse för litoralbottenfauna. Klassningen av variablerna genom val av distinkta klassgränser för ytvatten som ändrar karaktär längs ett kontinuum kan därför förväntas slå fel i många fall. Inom ramen för detta projekt har vi (1) studerat vilka vattentyper som kan särskiljas utifrån skillnader i bottenfaunasammansättning, (2) grupperat de vattentyper vars referensförhållanden inte kan särskiljas, och (3) identifierat och beskrivit åtskiljbara vattentyper och deras referensförhållanden.

Analysen i detta projekt har visat oss följande:

- Att det föreligger en tydlig klimat/näringsgradient av vatten mellan låglandet i södra Sverige, vatten i den boreala zonen och sjöar och vattendrag i fjällregionen. I denna gradient finns för bottenfauna viktiga diskontinuiteter i landskapet som *Limes norrlandicus* och trädgränsen. Detta är visserligen ingen ny kunskap, men det illustrerar svårigheten med att klassificera sjöarna utifrån ett antal typologivariabler. Till exempel uppvisar en sjö på 210 m.ö.h. som hamnar i höjdklassen 200–800 m förmodligen större likhet med en sjö som ligger på 180 m.ö.h. (som ligger i en annan höjdklass) än med en sjö på 750 m.ö.h. (som ligger i samma höjdklass). Likaså är en sjö med en area på 2,1 km² mer lik sjöar i storleksklassen 0,5–2 km² än sjöar som ligger i övre kanten på storleksklassen 2–10 km² som sjön själv tillhör.
- Att medeldjupet är av ringa betydelse för litoralfaunans sammansättning i sjöar och att man därför kan reducera antalet typer (och typspecifika referensvärden) för denna kvalitetsfaktor genom att bortse från medeldjupet.
- Att sjöars näringsstatus är den viktigaste variabeln för profundalbottenfauna. Klassificering med TWINSPAN visade en tydlig överensstämmelse med vedertagen kunskap om näringsstatus och profundalfaunans artsammansättning. Det faktum att typologivariablerna endast approximerar näringsstatus ger upphov till en hel del brus i datasettet.
- Att geologiklassen är av mindre betydelse för profundalbottenfauna.
- Att man kan slå samman de två minsta storleksklasserna av sjöar för litoralfauna.

Förenklat kan följande vattentyper urskiljas utifrån bottenfaunasammansättningen:

För litoralfaunan:

- Kiselhaltiga sjöar på kalfjället
- Kiselhaltiga sjöar i det Boreala höglandet (förmodligen under trädgränsen)
- Lågländssjöar med blandat geologi med intermediär altitud (de allra flesta över *Limes norrlandicus*)
- Lågländssjöar med blandat geologi på låg altitud (de flesta under *Limes norrlandicus*)

För profundalfaunan:

- En grupp som domineras av relativt små (< 2km²), främst humösa sjöar under 200 m.ö.h. Även något mer näringsrika sjöar med kiseldominerad geologi ingår i denna grupp. Faunasammansättningen tyder på återkommande perioder av syrgasbrist i bottenvattnet.
- En andra grupp med sjöar som främst ligger under 200 m och som utgör något av en mellangrupp. Gruppen liknar sjöarna i grupp 1, men är något större än föregående gruppen. Den större storleken leder till kortare perioder av stagnation och kortare isläggnings, vilket påverkar syrgasförhållanden positivt.
- En tredje grupp av något större, djupa sjöar som ligger på högre altitud än de andra 2 grupperna (över eller nära trädgränsen). Sjöarna i denna grupp är näringsfattiga och har klarare vatten.

För vattendrag fanns en relativ stor diskrepans mellan TWINSPAN-grupperna och typologin. Det kan förmodligen delvis förklaras av variationer i bottensubstratet som tillför variation i datasettet. Bottenssubstratets beskaffenhet (storlek på stenar, förekomst av vattenmossa, m.m.) är en viktig variabel för bottenfaunans sammansättning som endast i viss mån täcks av storleksvariabeln. Tydliga mönster var:

- att TWINSPAN-grupperna representerar en tydlig gradient i altitud, vattenfärg och näringsinnehåll.
- att TWINSPAN-grupp 1 till 80% består av vattendrag på det Boreala höglandet, där de flesta har kiselhaltig geologi. Denna vattendragstyp är dock också den dominerande i TWINSPAN-grupp 2 (24%).

För vidareutveckla och förbättra sjö- och vattendragstypologin föreslår vi följande:

1. Att testa om trädgränsen ger en bättre matchning med sjöarna biologi än 800 m nivån. För att detta ska kunna göras krävs tillgång till digitala kartor som vi saknar i dagsläget.
2. Att testa om regionspecifika "referensfilter" kan bidra till att färre sjöar skalas bort och att en tydligare typologi utkristalliserar. Till exempel är gränsen för totalfosforhalt på 10 µg/l en approximering av referensförhållanden som står sig bra i mellersta Sverige, men som ter sig låg i södra delen av landet och hög för fjällvatten.
3. Att testa om objekt som inte klassas som referenser enligt uppsatta kriterier har en lägre miljö kvalitet (bottenfaunaindex enligt Bedömningsgrunder för miljö kvalitet) än objekt som klassas som referenser.

2 Inledning

EU:s ramdirektiv för vatten kräver en indelning av ytvattenförekomster i olika typer, samt att bedömning av ekologisk status görs med ekologiska kvalitetskvoter (eng. *Ecological Quality Ratio*). Typindelningen av vattenförekomster ska vara baserat på ett antal typologivariabler (t.ex. altitud, storlek och geologi). Ett förslag till typindelning för svenska vatten har utarbetats av Fölster m.fl. (2002). Detta förslag baserat på typologivariablerna ger dock ett stort antal potentiella typer. Dessutom visar analys av biologiska och vattenkemiska kvalitetsvariabler en stor variation inom flertalet av de typer som Fölster m.fl. presenterar. De stora antalet vattentyper och den stora variation inom varje grupp är svårt att hantera i arbetet med att anpassa de biologiska bedömningsgrunderna till de krav som EU:s ramdirektiv för vatten ställer. Det är därför angeläget att studera hur antalet vattentyper kan minskas genom sammanslagning.

För att vattendirektivets krav ska uppfyllas behöver en typologianpassning göras för varje kvalitetsfaktor i de biologiska bedömningsgrunderna. Motivet till en typindelning är att typerna skiljer sig signifikant och att typspecifika referensförhållanden kan fastställas. Med andra ord kan vattentyper som inte skiljer sig signifikant slås ihop till en och samma typ. För typer som bedöms som ekologiskt relevanta ska typspecifika referensförhållanden kunna fastställas. I denna rapport görs en sådan analys för både sjöar och vattendrag.

I enlighet med NV kontrakt 261 0308 sker delrapportering till 31 december 2003, medan slutrapportering görs till den 31 januari 2004.

1 Metoder

1.1 Dataunderlag

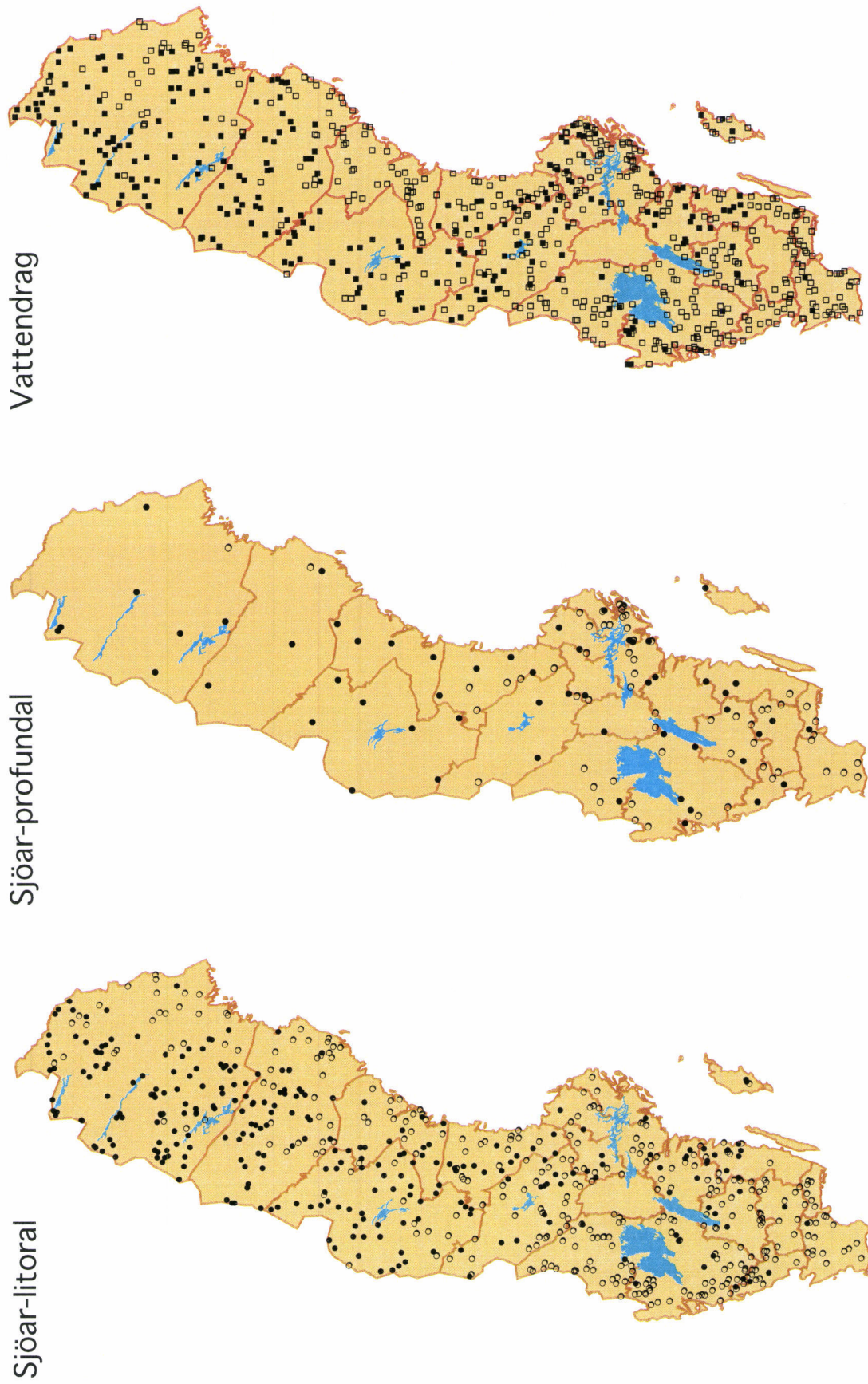
Dataunderlaget som har använts för analyser utgörs av 131 sjöar med litoral- och profundalbottenfauna från nationella och regionala referenssjöar provtagna år 2000, samt litoralprov från ca 700 sjöar och prov tagna på strömsträckor i ca 700 vattendrag som ingick i riksinventeringen 2000. Påverkade vatten har tagits bort genom ett förfarande som beskrivs i 3.2.

1.2 Definition av referensförhållanden

För att sortera bort sjöar och vattendrag som är påverkade har ett antal referensskriterier utvecklats (Johnson m. fl. 2003), d.v.s. ramar för vilka objekt som ska betraktas som opåverkade (se även CIS-REFCOND guidance 2003). Dessa referensskriterier baserar sig på halt- (miljöövervakningsdata) och markanvändningsdata (digitala röda kartan) och beskrivs i detalj i tabell 1. Till exempel bedömdes sjöar uppfylla referensförhållanden för försurning om medel pH översteg 6. För att ta hänsyn till naturligt sura sjöar bedömdes objekt med ett pH-värde lägre än 6 med F-faktorn enligt nuvarande bedömningsgrunder (Naturvårdsverket 1999). Efter denna gallring var det 56 referenssjöar och 276 riksinventeringssjöar kvar som uppfyllde referensskriterierna och som användes i vidare analys. För riksinventeringsvattendragen var det 271 objekt kvar för vidare analys. Kartorna i figur 1 visar det geografiska läget för samtliga sjöar och vattendrag, samt de som klarade referensfiltret och användes för vidare analys.

Tabell 1. Påverkanskriterier för sjöar och vattendrag med avseende på markanvändning (jord- och skogsbruk), försurning, punktkällor (tätort) och metaller. Notera att inga kriterier ännu är utvecklade för hydromorfologisk påverkan och för introducerade arter. BG = bedömningsgrunder (från Johnson m.fl. 2003).

Påverkanstyp	Kriterier för sjöar		Kriterier för vattendrag	
	Halt	Markanvändning.	Halt	Markanvändning
N och P från jordbruk	Tot-P < 10 µg/l För stationer med TP > 10 µg/l används samband mellan TP och AbsF (modell - modifiering av nuvarande BG).	< 20% jordbruksmark i ARO.	Tot-P < 10 µg/l För stationer med TP > 10 µg/l används samband mellan TP och AbsF från nuvarande BG (flödesvägt årsmedelvärde).	< 20% jordbruksmark i ARO.
N och P från skogsbruk	Tot-P < 10 µg/l För stationer med TP > 10 µg/l används modifierad samband mellan TP och AbsF (Referens-totP = ((Medel AbsF x 27,2 + 5,2) + 8,1). H ≥ 6,0	< 10% hygge i ARO (OBS! gäller enbart N-påverkan). Effekten kvarstår ca 5 år efter kalhuggning i S Sverige och ca 10 år i N Sverige.	Tot-P < 10 µg/l För stationer med Tot-P > 10 µg/l används samband mellan TP och AbsF från nuvarande BG (flödesvägt årsmedelvärde). pH ≥ 6,0	< 10% hygge i ARO (OBS! gäller enbart N-påverkan). Effekten kvarstår ca 5 år efter kalhuggning i S Sverige och ca 10 år i N Sverige.
Försurning	För stationer med pH < 6,0 används F-faktorn enligt nuvarande BG.		För stationer med pH < 6,0 används F-faktorn enligt nuvarande BG.	
Punktkällor Metaller	Tillståndsklass 1 eller 2 enligt nuvarande BG.	< 0,1% tätorter (röda kartan).	Tillståndsklass 1 eller 2 enligt nuvarande BG.	< 0,1% tätorter (röda kartan).



Figur 1. Geografiskt läge för riksinventeringsjöar (litoralfauna), referensjöar (profundalfauna) och riksinventeringsvattendrag som utgjorde hela dataunderlaget (fyllda och ofyllda prickar), samt de objekt som klassades som referenser (fyllda prickar). För vidare förklaring se text.

1.3 Klassificering av sjöar och vattendrag enligt föreslagen svensk typologi.

I tabell 2 visas de variabler som av Fölster m. fl. (2002) är föreslagna för klassificering av svenska sjöar och vattendrag (= svensk typologi). Fyra variabler används för klassificering av sjöar (ekoregion/altitud, medeldjup, sjöarea och geologi) medan tre variabler är föreslagna för klassificering av vattendrag (ekoregion/altitud, avrinningsområdets storlek, geologi). I denna klassificering har vi valt att behålla beteckningen "Centralslätten". I kontraktet anges att "Central Plains" endast ska omfatta den nemoral zonen (se Bedömningsgrunderna, NV 1999), men det anges inte hur vatten i den boreonemoral zonen ska behandlas. Att slå samman vatten i den boreonemoral zonen med sådana som ligger i den Fennoskandiska regionen vore fel då det avviker från EU:s ramdirektiv för vatten. Dessutom har tidigare analyser visat att det finns stora biologiska skillnader mellan sjöar norr och söder om *limes norrlandicus* (se t.ex. Gustafsson och Ahlén 1996, Johnson och Goedkoop 2002). I vår analys visade det sig att samtliga sjöarna i den nemoral zonen klassades som påverkade enligt påverkanskriterierna (Tabell 1). Sjöarna på Centralslätten i denna rapport är alltså objekt som ligger i den boreonemoral zonen.

Tabell 2. Variablerna som är föreslagna för klassificering av sjöar och vattendrag enligt EU:s ramdirektiv för vatten (se Fölster m. fl. 2002). * endast för klassificering av sjöar; † endast för klassificering av vattendrag.

	Ecoregion/altitud	Typologivariabler			Geologi
		Medeldjup [†] (m)	Sjöarea [†] (km ²)	ARO [†] (km ²)	
klassindelning	Boreala höglandet	<3	<0.5	<10	Kiselhaltig (Ca < 0,5 mekv/l & AbsF _{420/5} < 0,06)
	Fennoskandia >200 m.ö.h.	> 3	0.5–2	10–100	Humusrik (Ca > 0,5 mekv/l & AbsF _{420/5} > 0,06)
	Fennoskandia < 200 m.ö.h.		2–10	100–1000	Kalkhaltig (Ca) > 0,5 mekv/l & AbsF _{420/5} < 0,06)
	Centralslätten		>10	>1000	Kalkhaltig & humusrik (Ca > 0,5 mekv/l & AbsF _{420/5} > 0,06)

1.4 Statistiska metoder

I utvärderingen användes ett antal multivariata metoder. TWINSpan (Hill 1979) har använts för klassificering av bottenfaunasamhällen. I TWINSpan-analysen användes enbart sjöar och vattendrag som har rapporterats som ej påverkade av kalkning i fältprotokollen *TWINSpan* (Two Way INdicator SPecies Analysis) är en hierarkisk klassificeringsmetod som används för att dela upp bottenfaunasamhällen med utgångspunkt från deras taxonomiska sammansättning och de enskilda arternas förekomst (abundans) i proverna. Metoden är komplex och en enkel kortfattad beskrivning av förfarandesättet är således svår att ge. Den slutgiltiga produkten av en TWINSpan analys, en tabell som visar hur arterna är uppdelade efter abundansklasser (pseudoarter, se nedan), är å andra sidan relativt lätt att tolka. I en TWINSpan analys skapas så kallade pseudoarter (pseudospecies) som är baserade på valda abundansklasser av arter (eller taxa) i proven (t.ex. klass 1: 0, 1-1 ind/prov, klass 2: 1, 1-10 ind/prov, klass 3: 11-100 ind/prov, o.s.v.). För varje pseudoart beräknar programmet sedan ett indikatorvärde som ligger mellan -1 och +1. Med hjälp av dessa indikatorvärden delar TWINSpan programmet sedan pseudoarternas matris i två delar. Pseudoarter som återfinns i samtliga prover får ett indikatorvärde 0, medan pseudoarter som återfinns på antingen den ena eller andra sidan om delningen får negativa, respektive positiva indikatorvärden (maximalt -1 eller +1). En pseudoart med ett indikatorvärde 1 är således en perfekt indikator för den positiva gruppen. Eftersom pseudoarterna är baserade på arternas uppdelning i abundansklasser blir det så att vissa pseudoarter återfinns endast på

den ena sidan om delningen, medan andra pseudoarter återfinns endast på den andra sidan om delningen. Olika pseudoarter (och därmed arter inom varje grupp) blir därmed indikatorer för olika TWINSPAN grupper. Antalet delningar kan bestämmas i förväg och tolkningen av resultattabellen är subjektiv.

Diskriminantanalys är en multivariat metod som används för att jämföra en gruppvariabel (här TWINSPAN-grupperna) med en eller flera mätvariabler (här typologivariablerna) som man misstänker kan förklara variationen. I analysen predikeras grupptillhörighet med utgångspunkt av typologivariablerna och i nästa steg jämförs denna prediktion med den "sanna" grupptillhörigheten enligt TWINSPAN-analysen..

För databearbetning och analys har programmet JMP-4.0 (SAS Institute 2001) använts.

2 Resultat

2.1 Litoralfauna i sjöar (Riksinventeringen 2000)

2.1.1 Klassificering av riksinventeringssjöar med litoralfauna

Klassificering av riksinventeringssjöar (2000) enligt den föreslagna svenska typologin (Fölster m fl. 2002) visas i tabell 3. 39% av sjöarna ($n = 106$) var belägna på det Boreala höglandet, var relativt små ($< 0,05 \text{ km}^2$) och hade en kiselhaltig geologi. Lika många sjöar ($n = 106$) fanns över 200 m i den Fennoskandiska regionen. Ingen sjö i varken det Boreala höglandet eller Fennoskandia > 200 m region låg under 200 m.ö.h., och flera ($n=18$) i den Boreala höglandet låg på relativt hög höjd ($d v s > 800$ m.ö.h.). Merparten av sjöarna på det Boreala höglandet hade en kiselhaltig ($n = 80$ eller 75%) eller humusrik ($n = 21$ eller 20%) geologi. Även i regionen Fennoskandia > 200 m var de vanligaste sjöarna små ($n = 76$ eller 72% hade sjöarea $< 0,5 \text{ km}^2$), men i motsats till sjöarna i det Boreala höglandet var den dominerande geologitypen i denna region humusrik ($n = 69$ eller 65%), följd av kiselhaltig geologi ($n = 32$ eller 30%). Sjöarna över 200 m i den Fennoskandiska regionen och Centralslätten var kanske lik med avseende på typologivariablerna. I både regionerna var den vanligaste sjötypen små till medelstora; 67% av sjöarna i Fennoskandia < 200 m och 62% på Centralslätten hade en sjöarea $< 0,5 \text{ km}^2$ och 28% respektive 26% hade en sjöarea mellan 0,5 och 2 km^2). Även geologin uppvisade relativt stora likheter mellan dessa två regioner med humusrik geologi som den vanligaste (56% i den Fennoskandia < 200 m region och 43% in den Centralslätten). På Centralslätten förekom även sjöar med kalkhaltig ($n = 5$ eller 12%) och blandat kalkhaltig och humusrik geologi ($n = 8$ eller 19%).

Tabell 3. Sjötyper för riksinventeringssjöar ($n = 276$) som möter referensskriterierna (se tabell 1) klassade enligt Fölster m.fl. (2002). Observera att sjöar på Centralslätten motsvarar den boreonemorala zonen enligt Bedömningsgrunderna (NV 1999) då samtliga sjöarna i den nemorala zonen klassades som påverkade. Notera att ekoregion inte är del av den föreslagna svenska typologin.

N	Ekoregion	Altitud (m.ö.h.)	Sjöarea (km ²)	Djup (m)	Geologi
19	Boreala högländet	200-800	<0,5	<3	kiselhaltig
17	Boreala högländet	200-800	<0,5	>3	kiselhaltig
13	Boreala högländet	200-800	0,5-2	>3	kiselhaltig
11	Boreala högländet	>800	<0,5	<3	kiselhaltig
9	Boreala högländet	200-800	<0,5	<3	humusrik
8	Boreala högländet	200-800	2-10	>3	kiselhaltig
5	Boreala högländet	200-800	<0,5	>3	humusrik
4	Boreala högländet	200-800	>10	>3	kiselhaltig
3	Boreala högländet	>800	<0,5	>3	kiselhaltig
3	Boreala högländet	200-800	<0,5	<3	kalkhaltig
2	Boreala högländet	*	<0,5	<3	kiselhaltig
2	Boreala högländet	*	<0,5	<3	humusrik
2	Boreala högländet	>800	2-10	>3	kiselhaltig
2	Boreala högländet	200-800	2-10	>3	humusrik
2	Boreala högländet	200-800	0,5-2	>3	humusrik
1	Boreala högländet	>800	<0,5	<3	kalkhaltig
1	Boreala högländet	*	2-10	<3	kiselhaltig
1	Boreala högländet	>800	0,5-2	>3	kalkhaltig
1	Boreala högländet	200-800	0,5-2	<3	humusrik
35	Fennoskandia >200m	200-800	<0,5	<3	humusrik
19	Fennoskandia >200m	200-800	<0,5	>3	humusrik
11	Fennoskandia >200m	200-800	0,5-2	>3	humusrik
10	Fennoskandia >200m	200-800	<0,5	<3	kiselhaltig
9	Fennoskandia >200m	200-800	<0,5	>3	kiselhaltig
6	Fennoskandia >200m	200-800	0,5-2	>3	kiselhaltig
4	Fennoskandia >200m	200-800	2-10	>3	kiselhaltig
4	Fennoskandia >200m	200-800	2-10	>3	humusrik
3	Fennoskandia >200m	200-800	>10	>3	kiselhaltig
1	Fennoskandia >200m	200-800	<0,5	>3	kalkhaltig
1	Fennoskandia >200m	200-800	2-10	>3	kalkhaltig
1	Fennoskandia >200m	200-800	0,5-2	>3	kalkhaltig
1	Fennoskandia >200m	200-800	<0,5	<3	kalkhaltig
1	Fennoskandia >200m	200-800	<0,5	<3	kalkhaltig & humusrik
5	Fennoskandia <200m	<200	<0,5	<3	humusrik
3	Fennoskandia <200m	<200	0,5-2	>3	humusrik
2	Fennoskandia <200m	<200	<0,5	>3	kiselhaltig
2	Fennoskandia <200m	<200	0,5-2	>3	kiselhaltig
2	Fennoskandia <200m	<200	<0,5	<3	kiselhaltig
2	Fennoskandia <200m	<200	<0,5	<3	kalkhaltig & humusrik
1	Fennoskandia <200m	<200	<0,5	>3	humusrik
1	Fennoskandia <200m	<200	2-10	<3	humusrik
9	Centralslätten	<200	<0,5	<3	humusrik
6	Centralslätten	<200	<0,5	>3	kiselhaltig
3	Centralslätten	<200	0,5-2	>3	kiselhaltig
3	Centralslätten	<200	<0,5	>3	kalkhaltig & humusrik
2	Centralslätten	<200	2-10	>3	humusrik
2	Centralslätten	<200	0,5-2	>3	humusrik
2	Centralslätten	<200	0,5-2	<3	humusrik
2	Centralslätten	<200	<0,5	<3	kalkhaltig & humusrik

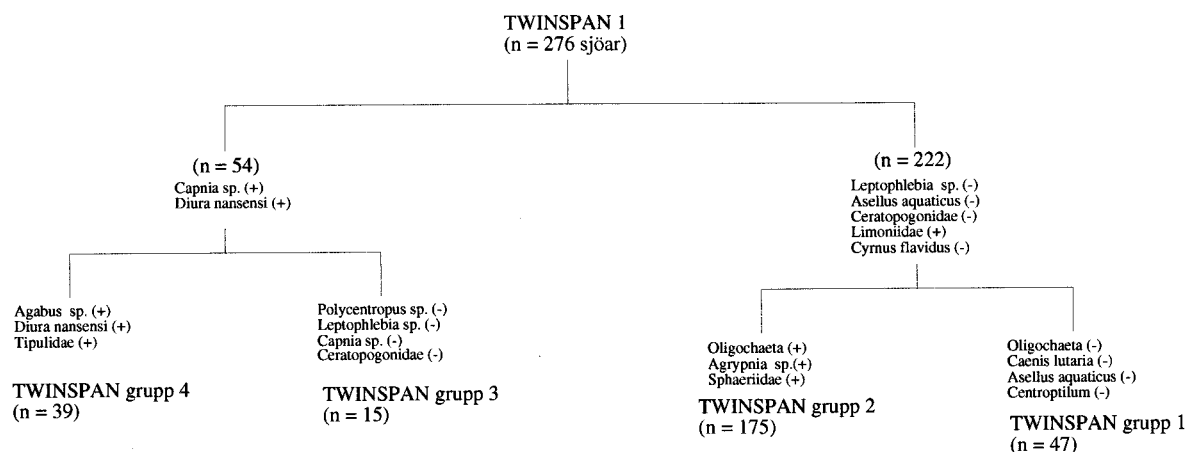
1	Centralslätten	<200	2-10	>3	kiselhaltig
1	Centralslätten	<200	<0,5	<3	kiselhaltig
1	Centralslätten	<200	<0,5	>3	kalkhaltig
1	Centralslätten	<200	2-10	>3	kalkhaltig
1	Centralslätten	<200	0,5-2	<3	kalkhaltig
1	Centralslätten	200-800	0,5-2	>3	kalkhaltig
1	Centralslätten	200-800	<0,5	<3	kalkhaltig
1	Centralslätten	<200	<0,5	>3	humusrik
1	Centralslätten	200-800	0,5-2	>3	humusrik
1	Centralslätten	200-800	<0,5	<3	humusrik
1	Centralslätten	<200	2-10	<3	kalkhaltig & humusrik
1	Centralslätten	<200	0,5-2	<3	kalkhaltig & humusrik
1	Centralslätten	200-800	<0,5	<3	kalkhaltig & humusrik

* data saknas

2.1.2 TWINSPAN gruppering

TWINSKAN gruppering av litoralbottenfauna i riksinventeringssjöar som klarade "referensfiltret" resulterade i fyra grupper (Figur 2). I den första delningen av 276 sjöar skapades två grupper, en grupp (n = 222) med *Leptophlebia* sp., *Asellus aquaticus*, Ceratopogonidae, Limoniidae och *Cyrmus flavidus* som indikatorarter och en andra grupp (n = 54) med *Capnia* sp. (*atra?*) och *Diura nanseni* som indikatorarter. Både dessa arter är vanliga i norrlandssjöar i den Arktisk/Alpin zon, vilket tyder på att TWINSKAN först "delade" landet i norr och söder.

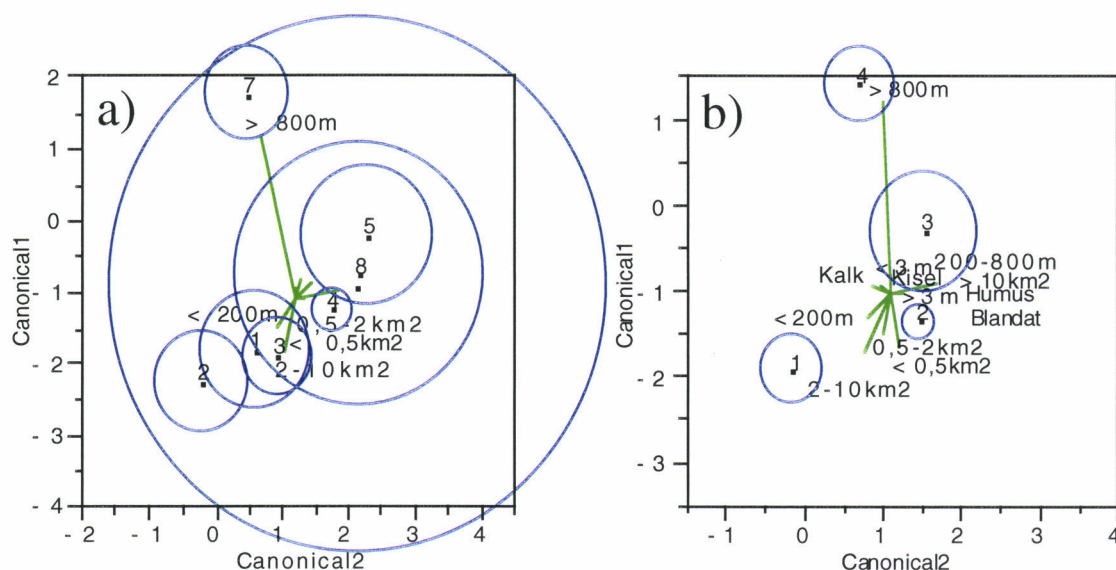
I den andra TWINSKAN-delningen bildades fyra grupper. En grupp (TWINSKAN grp. 1) består av 47 sjöar och hade *Oligochaeta*, *Caenis lutaria*, *Asellus aquaticus* och *Centroptilum* som indikatorarter. Alla dessa arter är vanligt förekommande i svenska sjöar. TWINSKAN grupp 2 (n = 175) hade *Oligochaeta*, *Agrypnia* sp., och Sphaeriidae. Förekomsten av dessa indikatorarter tyder förmodligen på mjukbottenhabitat. Vid nästa delning av den grupp om 54 sjöar skapades en grupp med 15 sjöar med *Polycentropus* sp., *Leptophlebia* sp., *Capnia* sp. och Ceratopogonidae som indikatorarter. Den andra gruppen (n = 39) hade *Agabus* sp., *Diura nanseni* och Tipulidae som indikatorarter.



Figur 2. TWINSKAN-analys av litoralbottenfauna för sjöar från riksinventeringen 2000.

2.1.3 Diskriminantanalys

Diskriminantanalys visade att de fyra typologivariablerna altitud, sjöarea, djup och geologi kunde förklara mycket av variationen mellan de fyra TWINSPAN grupperna (figur 3b), medan en vidare uppdelning i åtta grupper visade en store variation och lägre förklaringsgrad (figur 3a). Kontrasttester visade också att de fyra TWINSPAN grupper var signifikant skilda ($p < 0.05$). 197 sjöar (eller 73,8%) var placerade i den "rätta" gruppen (Tabell 4). TWINSPAN grupp 2 hade > 80% klassade till "rätt" grupp. För grupp 1 ($n = 55$) var 68% "rätt" klassade, medan 23 sjöar i denna grupp placerades i grupp 2 enligt svensktypologien data. TWINSPAN grupp 3 ($n = 19$ sjöar) visade en stor spridning mellan alla fyra grupper.



Figur 3. Diagram av åtta (a) och fyra (b) TWINSPAN-grupper av litoralbottenfauna och de förslagna typologivariablerna. Ringarna visar variationen (95%-konfidensintervall) i typologivariablerna inom de olika TWINSPAN-grupperna. Vektorerna visar de variablerna som förklarar mest variation mellan TWINSPAN-grupperna.

Tabell 4. Resultat av diskriminantanalys som visar en jämförelse mellan TWINSPAN-grupperna och predikerad grupptillhörighet utifrån typologivariablerna. Nio sjöar har ej klassats på grund av att altituddata saknades. $n =$ antal.

TWINSPAN-grupp	Antal (%)	Predikerad TWINSPAN-grupp				n
		1	2	3	4	
1	32 (68)	13 (28)	2 (4,2)	0 0,00	47	
2	23 41,82	140 (83)	5 (2,9)	0 0,00	168	
3	0 0,00	8 (53)	7 (47)	0 0,00	15	
4	0 0,00	14 (38)	5 (14)	18 (49)	37	
n		55	175	19	18	267

2.1.4 Jämförelse av föreslagen svensk typologi och TWINSPAN (fyra grupper)

De fyra TWINSPAN grupperna var spridda över flera av sjötyperna (Tabell 5), men en tydligt altitud/latitud gradient är ändå synlig i diskriminantanalysen av TWINSPAN grupper och miljöfaktorer. Av de 47 sjöar i TWINSPAN grupp 1 var 33 placerade på Centralslätten och 11 stycken i Fennoskandia under 200 m. Att TWINSPAN grupp 1 representerar låglandssjöar kan också ses genom att de flesta objekt i grupp 1 ($n = 32$ eller 68%) fanns under 200 m.ö.h. Sjöarna i grupp 1 var relativt små (27 stycken med sjöarea $< 0,5 \text{ km}^2$) och hade både kiselhaltig ($n = 18$) och humusrik ($n = 19$) geologi. Medeldjup var av mindre betydelse för klassningen i denna grupp.

TWINSPAN grupp 2 och grupp 3 var placerade runt ordinationens centroid. Grupp 2 var en relativt stor och heterogen grupp med 175 objekt (eller 64% av alla sjöar). De flesta sjöarna i denna grupp fanns i höj dintervall 200–800 m.ö.h. ($n = 147$ eller 84%) i Fennoskandia ($n = 95$) eller i det Boreala höglandet ($n = 57$). Även om de flesta sjöarna var små ($n = 130$ eller 74% med en sjöarea $< 0,5 \text{ km}^2$) var både grunda och djupa sjöar lika mycket representerade; 88 hade en medeldjup $< 3 \text{ m}$ och 87 hade en medeldjup $> 3 \text{ m}$. Humusrik geologi var något vanligare än kiselhaltig ($n = 96$ eller 55% respektive 67 eller 38%). Kalkhaltig och kalkhaltiga & humusrika sjöar var ovanliga ($n = 7$ respektive $n = 5$ sjöar). I motsats till grupp 2 var grupp 3 en liten grupp och relativt homogen grupp av djupa, kiselhaltiga sjöar ($n=13$). De flesta av sjöarna fanns på det Boreala höglandet (85%) och endast två sjöar fanns i Fennoskandia över 200 m. Några av dessa 13 sjöar var relativt stora (t. ex. hade 4 stycken en sjöarea $> 10 \text{ km}^2$). Alla sjöar i denna grupp låg mellan 200 och 800 m.ö.h., var relativt djupa ($> 3 \text{ m}$ medeldjup) och hade alla kiselhaltig geologi.

TWINSPAN grupp 4 består i huvudsak av kiselhaltiga sjöar på det Boreala höglandet (95%) och i Fennoskandia över 200 m.o.h. (5%). Att grupp 4 sjöarna är positivt korrelerade med altitud syns tydlig i figur 3. De flesta sjöarna i denna grupp är små ($n = 26$ eller 70%) och ungefär hälften har ett medeldjup $< 3 \text{ m}$ (54%). Ingen sjö i grupp 4 ligger under 200 m.ö.h. och flera ($n = 18$ eller 49%) låg förmodligen över trädgränsen och är sannolikt näringsfattiga.

Tabell 5. Matchning av TWINSPAN-grupperna baserade på litoralfauna med den föreslagna svenska typologin (Fölster m. fl. 2002). Notera att ekoregion inte är del av den föreslagna svenska typologin..

TWINSPAN grupp (1-4)	N	%	Ekoregion	Altitud (m.ö.h.)	Sjöarea (km ²)	Djup (m)	Geologi	
1	6	13	Centralslätten	<200	<0,5	>3	kiselhaltig	
1	5	11	Centralslätten	<200	<0,5	<3	humusrik	
1	3	6	Centralslätten	<200	0,5-2	>3	kiselhaltig	
1	3	6	Centralslätten	<200	<0,5	>3	kalkhaltig & humusrik	
1	2	4	Fennoskandia >200 m	200-800	0,5-2	>3	kiselhaltig	
1	2	4	Fennoskandia <200 m	<200	<0,5	<3	humusrik	
1	2	4	Centralslätten	<200	0,5-2	<3	humusrik	
1	2	4	Centralslätten	<200	0,5-2	>3	humusrik	
1	2	4	Centralslätten	<200		2-10	>3	humusrik
1	1	2	Boreala höglandet	200-800	<0,5	<3	kiselhaltig	
1	1	2	Fennoskandia >200 m	200-800	<0,5	<3	kiselhaltig	
1	1	2	Fennoskandia <200 m	<200	<0,5	<3	kiselhaltig	
1	1	2	Fennoskandia <200 m	<200	<0,5	>3	kiselhaltig	
1	1	2	Boreala höglandet	200-800	2-10	>3	kiselhaltig	
1	1	2	Fennoskandia >200 m	200-800	2-10	>3	kiselhaltig	
1	1	2	Centralslätten	<200	2-10	>3	kiselhaltig	
1	1	2	Fennoskandia >200 m	200-800	<0,5	<3	humusrik	
1	1	2	Centralslätten	200-800	<0,5	<3	humusrik	
1	1	2	Boreala höglandet	200-800	<0,5	>3	humusrik	

TWINSPAN grupp (1-4)	N	%	Ekoregion	Altitud (m.ö.h.)	Sjöarea (km ²)	Djup (m)	Geologi
1	1	2	Fennoskandia >200 m	200-800	<0,5	>3	humusrik
1	1	2	Fennoskandia >200 m	200-800	0,5-2	>3	humusrik
1	1	2	Centralslätten	200-800	0,5-2	>3	humusrik
1	1	2	Centralslätten	200-800	<0,5	<3	kalkhaltig
1	1	2	Centralslätten	<200	<0,5	>3	kalkhaltig
1	1	2	Centralslätten	200-800	0,5-2	>3	kalkhaltig
1	1	2	Centralslätten	<200	2-10	>3	kalkhaltig
1	1	2	Centralslätten	200-800	<0,5	<3	kalkhaltig & humusrik
1	1	2	Centralslätten	<200	0,5-2	<3	kalkhaltig & humusrik
1	1	2	Centralslätten	<200	2-10	<3	kalkhaltig & humusrik
2	32	18	Fennoskandia >200 m	200-800	<0,5	<3	humusrik
2	18	10	Fennoskandia >200 m	200-800	<0,5	>3	humusrik
2	12	7	Boreala höglandet	200-800	<0,5	<3	kiselhaltig
2	11	6	Boreala höglandet	200-800	<0,5	>3	kiselhaltig
2	10	6	Fennoskandia >200 m	200-800	0,5-2	>3	humusrik
2	9	5	Fennoskandia >200 m	200-800	<0,5	<3	kiselhaltig
2	9	5	Fennoskandia >200 m	200-800	<0,5	>3	kiselhaltig
2	8	5	Boreala höglandet	200-800	<0,5	<3	humusrik
2	7	4	Boreala höglandet	200-800	0,5-2	>3	kiselhaltig
2	4	2	Fennoskandia >200 m	200-800	0,5-2	>3	kiselhaltig
2	4	2	Centralslätten	<200	<0,5	<3	humusrik
2	4	2	Boreala höglandet	200-800	<0,5	>3	humusrik
2	4	2	Fennoskandia >200 m	200-800		2-10 >3	humusrik
2	3	2	Fennoskandia >200 m	200-800		2-10 >3	kiselhaltig
2	3	2	Fennoskandia <200 m	<200	<0,5	<3	humusrik
2	3	2	Fennoskandia <200 m	<200	0,5-2	>3	humusrik
2	2	1	Boreala höglandet		<0,5	<3	kiselhaltig
2	2	1	Fennoskandia <200 m	<200	0,5-2	>3	kiselhaltig
2	2	1	Boreala höglandet		<0,5	<3	humusrik
2	2	1	Boreala höglandet	200-800	0,5-2	>3	humusrik
2	2	1	Boreala höglandet	200-800		2-10 >3	humusrik
2	2	1	Boreala höglandet	200-800	<0,5	<3	kalkhaltig
2	2	1	Fennoskandia <200 m	<200	<0,5	<3	kalkhaltig & humusrik
2	2	1	Centralslätten	<200	<0,5	<3	kalkhaltig & humusrik
3	2	1	Boreala höglandet	200-800	<0,5	<3	kiselhaltig
2	1	1	Fennoskandia <200 m	<200	<0,5	<3	kiselhaltig
2	1	1	Centralslätten	<200	<0,5	<3	kiselhaltig
2	1	1	Fennoskandia <200 m	<200	<0,5	>3	kiselhaltig
2	1	1	Boreala höglandet			2-10 <3	kiselhaltig
2	1	1	Boreala höglandet	200-800		2-10 >3	kiselhaltig
2	1	1	Fennoskandia >200 m	200-800		>10 >3	kiselhaltig
2	1	1	Fennoskandia <200 m	<200	<0,5	>3	humusrik
2	1	1	Centralslätten	<200	<0,5	>3	humusrik
2	1	1	Boreala höglandet	200-800	0,5-2	<3	humusrik
2	1	1	Fennoskandia <200 m	<200		2-10 <3	humusrik
2	1	1	Fennoskandia >200 m	200-800	<0,5	<3	kalkhaltig
2	1	1	Fennoskandia >200 m	200-800	<0,5	>3	kalkhaltig
2	1	1	Centralslätten	<200	0,5-2	<3	kalkhaltig
2	1	1	Fennoskandia >200 m	200-800	0,5-2	>3	kalkhaltig
2	1	1	Fennoskandia >200 m	200-800		2-10 >3	kalkhaltig

TWINSPAN grupp (1-4)	N	%	Ekoregion	Altitud (m.ö.h.)	Sjöarea (km ²)	Djup (m)	Geologi
2	1	1	Fennoskandia >200 m	200-800	<0,5	<3	kalkhaltig & humusrik
3	3	23	Boreala höglandet	200-800	<0,5	>3	kiselhaltig
3	3	23	Boreala höglandet	200-800	0,5-2	>3	kiselhaltig
3	3	23	Boreala höglandet	200-800	2-10	>3	kiselhaltig
3	2	15	Boreala höglandet	200-800	>10	>3	kiselhaltig
3	2	15	Fennoskandia >200 m	200-800	>10	>3	kiselhaltig
4	11	30	Boreala höglandet	>800	<0,5	<3	kiselhaltig
4	4	11	Boreala höglandet	200-800	<0,5	<3	kiselhaltig
4	3	8	Boreala höglandet	200-800	<0,5	>3	kiselhaltig
4	3	8	Boreala höglandet	>800	<0,5	>3	kiselhaltig
4	3	8	Boreala höglandet	200-800	0,5-2	>3	kiselhaltig
4	3	8	Boreala höglandet	200-800	2-10	>3	kiselhaltig
4	2	5	Boreala höglandet	>800	2-10	>3	kiselhaltig
4	2	5	Boreala höglandet	200-800	>10	>3	kiselhaltig
4	2	5	Fennoskandia >200 m	200-800	<0,5	<3	humusrik
4	1	3	Boreala höglandet	200-800	<0,5	<3	humusrik
4	1	3	Boreala höglandet	200-800	<0,5	<3	kalkhaltig
4	1	3	Boreala höglandet	>800	<0,5	<3	kalkhaltig
4	1	3	Boreala höglandet	>800	0,5-2	>3	kalkhaltig

Grupp 1 sjöar (n = 47) är väl buffrade med en medel Ca halt av 0,596 mekv/l, medelalkalinitet av 0,399 mekv/l och medel pH av 6,88. Totalt fosfor är 11,6 µg/l i grupp sjöarna i TWINSPAN-grupp 1. Grupp 2 är en relativt stor grupp av sjöar (n = 175). Sjöarna i denna grupp kan beskrivas som "medel", med en sjöarea av 1,21 km², medelaltitud av 346 m.ö.h., medelalkalinitet av 0,219 mekv/l och medelvattenfärg av 0,091 (AbsF, motsvarande 45 mg Pt/l). Grupp 3 består av enbart 15 sjöar. Sjöarna är relativt stora (i medel 17,8 km²) och har relativt klara vatten (medel AbsF = 0,030, eller 15 mg Pt/l) och låga totalfosforhalter (medel 6,2 µg/l). Grupp 4 sjöarna (n = 39) finns på relativt hög altitud (i medel 785 m.ö.h.) och är näringsfattiga (medel totalfosfor = 5,0 µg/l) och har låg vattenfärg (medel AbsF = 0,019 eller 10 mg Pt/l).

Tabell 6. Medelvärden ± 1 standard avvikelse för ett fysikalisk-kemiska variabler och markanvändningen för TWINSPAN sjögrupperna 1-4.

TWINSPAN-grupp	1	2	3	4
Variabel	(n=47)	(n=175)	(n=15)	(n=39)
Altitud (m.ö.h.)	163±132	346±146	563±144	785±207
Sjöarea (km ²)	0,96±1,41	1,21±8,5	17,8±42,6	1,9±4,6
Medeldjup (m)	4,4±2,7	3,9±2,4	8,4±4,8	6,0±4,9
Alkalinitet (mekv/l)	0,399±0,852	0,219±0,375	0,136±0,076	0,157±0,150
Ca (mekv/l)	0,596±1,073	0,237±0,406	0,129±0,066	0,177±0,150
Absorbans F (420/5)*	0,108±0,098	0,091±0,071	0,030±0,016	0,019±0,039
pH	6,88±0,39	6,81±0,45	7,00±0,18	6,98±0,35
Total-P (µg/l)	11,6±4,7	9,8±3,9	6,2±2,2	5,0±1,5
Skog (%)	77±16	79±22	46±25	8,1±22
Jordbruk (%)	4,5±1,3	0,47±2,1	0,05±0,10	0±0
Kalfjäll (%)	0,18±1,3	3,7±15	34±30	79±29

2.2 Bottenfauna sjöars profundal (referenssjöar)

2.2.1 Klassificering av referenssjöar

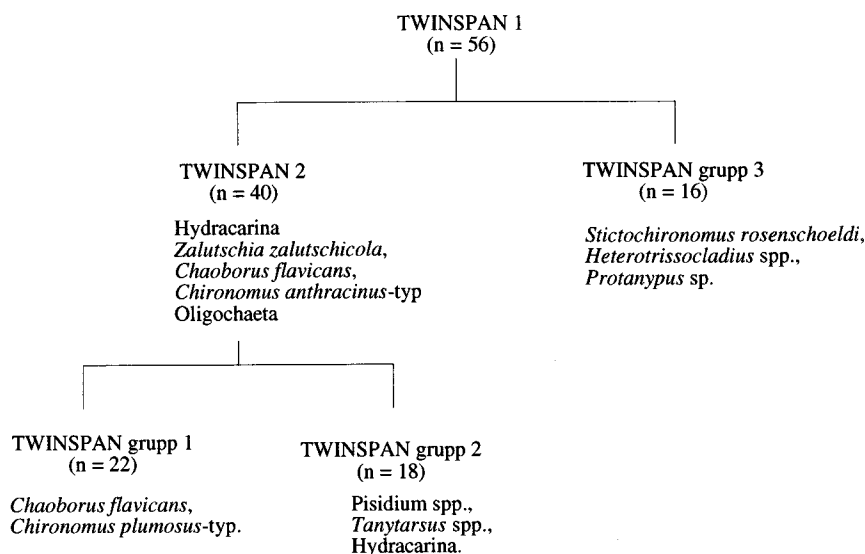
De 56 referenssjöarna som ingick i analysen delar upp sig över hela 32 olika typer enligt föreslagen svensk typologi (Tabell 7). Nio av sjöarna (eller 16%) ligger på det Boreala höglandet, 23 (eller 41%) på den Fennoskandiska skölden och 24 (eller 43%) på Centralsslätten. Iögonfallande, men inte oväntat, är de allra flesta av sjöarna på den Fennoskandiska skölden klassas som humusrika, medan endast 2 av sjöarna uppvisar en kiselhaltig geologi. Även på Centralsslätten är 16 av 24 sjöar humusrika.

Iögonfallande är vidare att 21 av sjöarna (eller 38%) är mindre än 0,5 km² och att endast 2 objekt, Fyrjön och Norra Yngern, är större än 10 km².

Tabell 7. Sjötyper för referenssjöar (n = 56) som möter referenskriterierna (se tabell 1) klassade enligt Fölster m fl. (2002). Observera att sjöar på Centralsslätten motsvarar den boreonemorala zonen enligt Bedömningsgrunderna (NV 1999) då samtliga sjöarna i den nemorala zonen klassades som påverkade. Notera att ekoregion inte är del av den föreslagna typologin.

N	Ekoregion	Altitudklass (m.ö.h.)	Storleksklass (km ²)	Djupklass (m)	Geologiklass
2	Boreala höglandet	200-800	2-10	>3	humusrik
2	Boreala höglandet	200-800	2-10	>3	kiselhaltig
1	Boreala höglandet	200-800	<0,5	>3	humusrik
1	Boreala höglandet	>800	<0,5	>3	kiselhaltig
1	Boreala höglandet	200-800	0,5-2	>3	humusrik
1	Boreala höglandet	200-800	0,5-2	>3	kiselhaltig
1	Boreala höglandet	>800	0,5-2	>3	kiselhaltig
8	Fennoskandia	200-800	0,5-2	>3	humusrik
3	Fennoskandia	<200	<0,5	>3	humusrik
2	Fennoskandia	<200	0,5-2	>3	humusrik
2	Fennoskandia	200-800	2-10	>3	humusrik
1	Fennoskandia	200-800	<0,5	<3	humusrik
1	Fennoskandia	200-800	0,5-2	>3	kiselhaltig
1	Fennoskandia	200-800	2-10	<3	humusrik
1	Fennoskandia	200-800	>10	>3	kalkhaltig & humusrik
1	Fennoskandia	<200	<0,5	<3	humusrik
1	Fennoskandia	<200	<0,5	>3	kiselhaltig
1	Fennoskandia	<200	0,5-2	<3	humusrik
1	Fennoskandia	<200	2-10	>3	humusrik
6	Centralsslätten	<200	<0,5	>3	humusrik
5	Centralsslätten	<200	0,5-2	>3	humusrik
2	Centralsslätten	<200	<0,5	<3	humusrik
2	Centralsslätten	<200	<0,5	>3	kiselhaltig
1	Centralsslätten	<200	<0,5	<3	humusrik
1	Centralsslätten	<200	0,5-2	<3	kalkhaltig & humusrik
1	Centralsslätten	<200	0,5-2	>3	kiselhaltig
1	Centralsslätten	<200	2-10	<3	kalkhaltig
1	Centralsslätten	<200	2-10	>3	kiselhaltig
1	Centralsslätten	200-800	<0,5	<3	humusrik
1	Centralsslätten	200-800	<0,5	>3	humusrik
1	Centralsslätten	200-800	0,5-2	>3	kiselhaltig
1	Centralsslätten	200-800	>10	>3	kiselhaltig

2.2.2 TWINSPAN gruppering

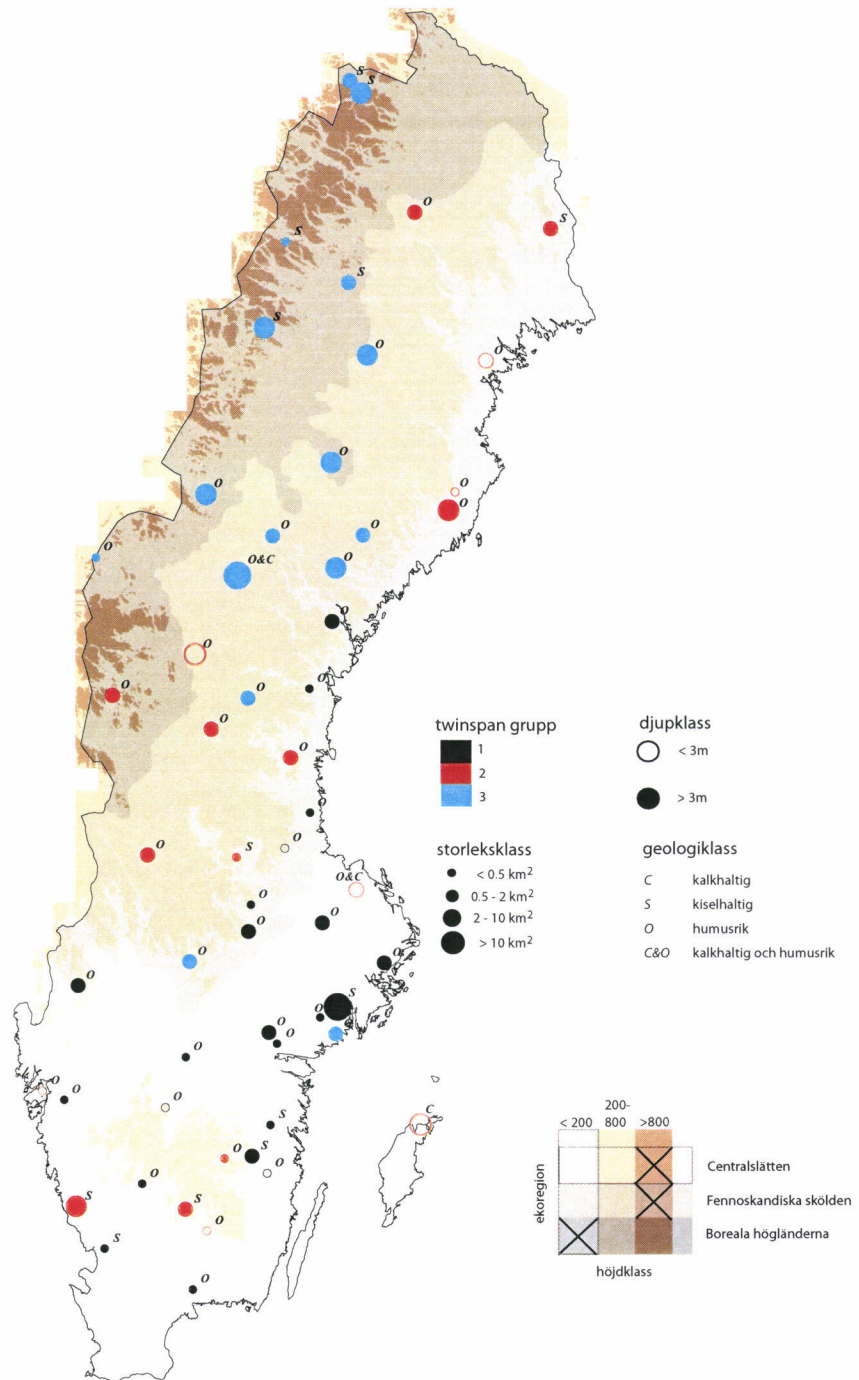


Figur 4. TWINSPAN-analys av profundalbottenfauna för referenssjöar.

TWINSPAN analysen visade en första uppdelning i oligo-mesotrofa klarvattensjöar (TWINSPAN-grupp 3) och sjöar som är något mer näringsrika i sin karaktär (Figur 4). Indelningen liknar därmed den klassiska indelningen av sjöar efter en närsaltsgradient som har beskrivits av Brundin (1956) och som är en konsekvens av att profundalfaunans sammansättning i hög grad styrs av syrgastillgången i bottenvattnet. Man bör dock komma ihåg att denna analys omfattar en population av sjöar där riktigt eutrofa objekt saknas, dels genom att referenssjöarna saknar en direkt närsaltsbelastning, dels genom att vi skalat bort sjöar med en totalfosforhalt $\geq 10 \mu\text{g/L}$. Indikator taxa för TWINSPAN-grupp 3 var fjädermyggorna *Stictochironomus rosenschoeldi*, *Heterotrissocladus* spp. och *Protanypus* sp. De två förstnämnda taxa är indikator taxa för respektive mesotrofa och oligotrofa sjöar (Brundin 1956, Wiederholm 1980). Totalfosforhalten för sjöarna i TWINSPAN-grupp 1 var $6,2 \pm 1,6 \mu\text{g/L}$ (variationsvidd 3,6–9,3) och signifikant lägre än för TWINSPAN-grupperna 2 och 3 (Tukey-Kramer HSD, $p < 0,05$). Även klorofyllhalten för sjöarna i denna TWINSPAN-grupp 3 var lägre än för de andra grupperna (Tukey-Kramer HSD, $p < 0,05$). Bland de negativa indikatorerna i den första TWINSPAN-delningen fanns även fjädermyggan *Zalutschia zalutschicola* som är vanligt förekommande i bruna vatten. Vattenfärgen för sjöarna i TWINSPAN-grupp 3 var $38 \pm 26 \text{ mg Pt/l}$ (2,7–97 mg Pt/l) och skiljde sig inte signifikant från de andra två grupperna. Utvalda vattenkemiska variabler för TWINSPAN-grupperna redovisas i tabell 8.

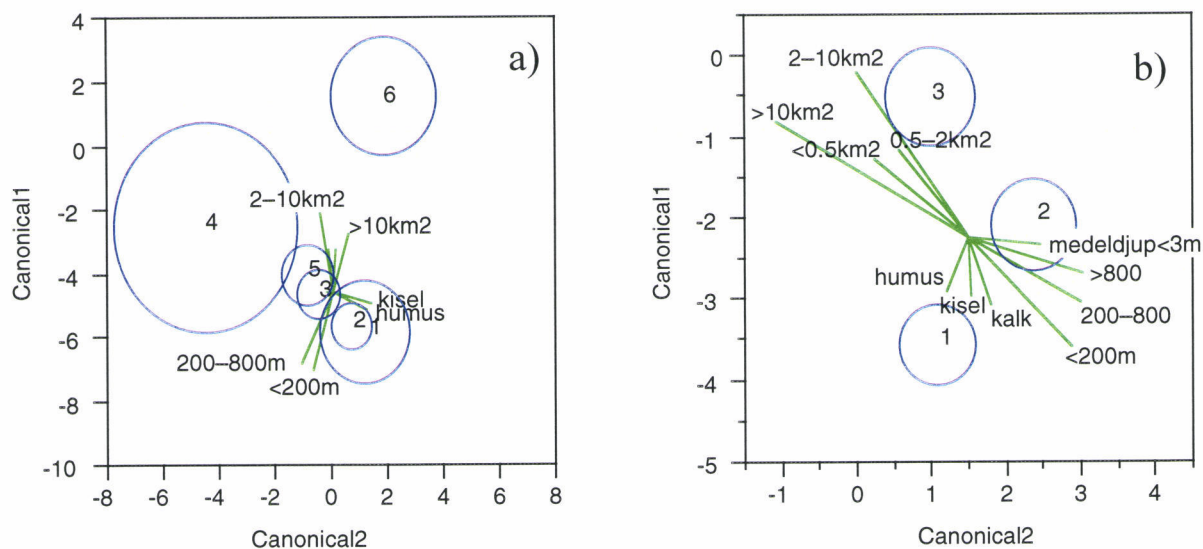
Även den andra TWINSPAN-delningen delar de kvarvarande 40 sjöarna upp efter näringsstatus. Sjöarna i TWINSPAN-grupp 1 är något mer näringsrika vatten där fjädermyggor av *Chironomus plumosus*-typ och tofsmyggor *Chaoborus flavicans* utgör indikator taxa, två taxa som är tåliga mot låga syrgashalter i bottenvattnet. Sjöarna i denna grupp har en totalfosforhalt på $10,4 \pm 2,4$ (5,9–15,7) $\mu\text{g/L}$, vilket motsvarar låga till måttligt höga halter enligt Bedömningsgrunderna (OBS! att eutrofierade vatten har eliminerats i ett tidigare skede av analysen!). TWINSPAN-grupp 2 innehåller ärtmusslor av släktet *Pisidium*, fjädermyggan *Tanytarsus* spp. och vattenkvalster (Hydracarina) som indikator taxa.

Det geografiska läget för sjöarna i de olika TWINSPAN-grupperna visas i figur 5. Figuren visar en någorlunda tydlig geografisk uppdelning av de tre TWINSPAN-grupperna. Samtliga utom två av sjöarna i TWINSPAN-grupp 3 ligger i landets norra hälft. Även många av sjöarna i TWINSPAN-grupp 2 har en nordlig utbredning och endast 6 objekt ligger i Götaland. Majoriteten av sjöarna i TWINSPAN-grupp 1 ligger i Götaland och Svealand och är relativt små ($< 0,5 \text{ km}^2$) och bruna (organisk). Tre sjöar i TWINSPAN-grupp 1 ligger utmed norrlandskusten.



Figur 5 Karta som visar den geografiska fördelningen av sjöarna inom de tre TWINSpan-grupperna och deras typologi. Bokstäverna intill symbolerna anger om de klassas som kalkhaltiga (C), kiselhaltiga (S) humusrika (O), eller både kalkhaltiga och humusrika (O&C).

2.2.3 Diskriminantanalys



Figur 6. Diagram av åtta (a) och fyra (b) TWINSpan-grupper av profundalbottenfauna och de förslagna typologivariablerna. Ringarna visar variationen (95%-konfidensintervall) i typologivariablerna inom de olika TWINSpan-grupperna. Vektorerna visar de variablerna som förklarar mest variation mellan TWINSpan-grupperna.

Diskriminantanalys visar överensstämmelsen mellan en klassning gjord med bottenfauna som underlag (TWINSpan-grupperna) och en klassning utifrån typologivariablerna. Diskriminantanalys för 8 TWINSpan-grupperna resulterade i stora överlapp mellan olika grupper som följd av en stor spridning i grupper med få sjöar (Figur 6a). Diskriminantanalys med tre TWINSpan-grupperna gav dock en tydlig uppdelning i diagrammet och visade att sjöstorlek, altitud och geologi var viktiga förklarande variabler (Fig. 6b).

För grupp TWINSpan-grupp 1, gruppen med de något mer näringsrika vatten där fjädermyggor av *Chironomus plumosus*-typ och tofsmyggor *Chaoborus flavicans* utgör indikator-taxa, kunde hela 20 av 22 (eller 91%) predikeras "rätt" utifrån typologivariablerna, medan de övriga 9% predikerades "fel" till grupp 2 (Tabell 8). Även för TWINSpan-grupp 3, gruppen av oligo-mesotrofa sjöar där fjädermyggorna *Stictochironomus rosenschoeldi*, *Heterotrissocladius* spp. och *Protanypus* sp. är indikator-taxa, fanns en relativt god överensstämmelse mellan TWINSpan-grupperingen och den med typologivariablerna som underlag. Här predikerades 14 av 16 sjöar (88%) till "rätt" TWINSpan-grupp med typologivariablerna som underlag. För TWINSpan-grupp 2 som biologiskt sett ligger mellan grupp 1 och 3 blev endast 8 sjöar (44%) rätt predikerade, medan 4 sjöar predikerades "felaktigt" till TWINSpan-grupp 1 och 6 objekt "felaktigt" till TWINSpan-grupp 3. Detta resultat visar att typologivariablerna är goda beskrivande variabler för profundalbottenfaunan för sjöar i TWINSpan-grupperna 1 och 3 då de visar en relativt god överensstämmelse med en biologisk klassning (TWINSpan). För TWINSpan-grupp 2 visar diskriminantanalysen en sämre prediktion som följd av att sjötypen uppvisar en bottenfaunasammansättning som visar en betydligt större överlapp med den för grupperna 1 och 3.

Tabell 8. Resultat av diskriminantanalys som visar en jämförelse mellan TWINSPAN-grupperna och predikerad grupptillhörighet utifrån typologivariablerna. n = antal.

		Predikerad TWINSPAN-grupp			n
		1	2	3	
TWINSPAN-grupp	Antal (%)				
	1	20 (91)	2 (9,1)	0 0.00	22
	2	4 (22)	8 (44)	6 (33)	18
	3	1 (6,3)	1 (6,3)	14 (88)	16
n		25	11	20	56

2.2.4 Jämförelse av föreslagen svensk typologi och TWINSPAN (tre grupper)

I tabell 9 visas hur TWINSPAN-grupperna matchar den föreslagna svenska sjötypologin. Tabellen visar att TWINSPAN-grupperna till 62–82% består av humösa sjöar, samt andelen är kiselhaltiga sjöar med 19–25% också är relativt jämt fördelat över de 3 grupperna. Av den jämna fördelningen kan man dra slutsatsen att geologin har mindre betydelse för profundalfaunan. Det är svårt att från materialet dra slutsatsen att sjöstorleken har betydelse för profundalfaunans sammansättning, även om det är vedertaget att storleken påverkar skiktningförhållanden och isläggningen och därmed syrgasförhållanden i bottenvattnet. Det ska påpekas att det fanns endast 11 sjöar som var större än 2 km² i datamaterialet. Dessa större sjöar hamnar främst i TWINSPAN-grupperna 2 och 3. TWINSPAN-grupperingen är som beskrivits ovan i mångt och mycket baserat på en näringsgradient av sjöar. Det är således sjöns näringsstatus (och bottenvattnets syrgasklimat) som är den viktigaste styrvariabeln. Näringsstatus fångas delvis in av höjdklassningen som skiljer sig en del mellan TWINSPAN-grupperna. En grupp som framförallt urskiljer sig är TWINSPAN-grupp 3 som består av djupa sjöar (samtliga >3 m) i högre terräng.

Medelvärden för olika typologivariabler och vattenkemiska variabler redovisas i tabell 10. Tabellen visar skillnader i altitud, vattenfärg och näringsstatus som beskrivits ovan för de olika TWINSPAN-grupperna.

Tabell 9. Matchning av TWINSPAN-grupperna baserade på profundalfauna med den föreslagna svenska typologin (Fölster m. fl. 2002).

Sjöar			Svensk sjötypologi			
TWINSPAN-grupp	Antal	%	Höjdklass	Storleksklass (km ²)	Djupklass	Geologiklass
1	9	41	<200	<0,5	>3	humusrik
1	6	27	<200	0,5–2	>3	humusrik
1	2	9	200–800	<0,5	<3	humusrik
1	2	9	<200	<0,5	>3	kiselhaltig
1	1	5	<200	0,5–2	>3	kiselhaltig
1	1	5	<200	<0,5	<3	humusrik
1	1	5	<200	>10	>3	kiselhaltig
2	5	28	200–800	0,5–2	>3	humusrik
2	3	17	<200	<0,5	<3	humusrik

2	2	11	200-800	0,5-2	>3	kiselhaltig
2	1	6	200-800	<0,5	>3	humusrik
2	1	6	200-800	2-10	<3	humusrik
2	1	6	<200	0,5-2	<3	humusrik
2	1	6	<200	<0,5	>3	kiselhaltig
2	1	6	<200	0,5-2	<3	kalkhaltig & humusrik
2	1	6	<200	2-10	<3	kalkrik
2	1	6	<200	2-10	>3	kiselhaltig
2	1	6	<200	2-10	>3	humusrik
3	4	25	200-800	0,5-2	>3	humusrik
3	4	25	200-800	2-10	>3	humusrik
3	2	13	>800	0,5-2	>3	kiselhaltig
3	1	6	200-800	0,5-2	>3	kiselhaltig
3	1	6	200-800	2-10	>3	kiselhaltig
3	1	6	200-800	<0,5	>3	humusrik
3	1	6	200-800	>10	>3	kalkhaltig&humusrik
3	1	6	<200	0,5-2	>3	humusrik

Analysen visar att geologin är av underordnad betydelse för profundalfaunans sammansättning. I stället är altitud och näringsstatus viktiga variabler. Något förenklat kan man urskilja följande 3 sjötyper utifrån TWINSPAN klassificeringen med profundalfaunan:

- En grupp som domineras av relativt små (< 2km²), främst humösa sjöar under 200 m.ö.h. Även något mer näringsrika sjöar med kiseldominerad geologi ingår i denna grupp. *Chironomus plumosus*-typ och *Chaoborus* är indikatortaxa, vilket tyder på återkommande perioder av syrgasbrist i bottenvattnet.
- En andra grupp med sjöar som främst ligger under 200 m och som utgör något av en mellangrupp. Gruppen liknar sjöarna i grupp 1, men är något större än föregående gruppen. Den större storleken leder till kortare perioder av stagnation och kortare isläggning, vilket påverkar syrgasförhållanden positivt. *Tanytarsus* är indikatororganism.
- En tredje grupp av något större, djupa sjöar som ligger på högre altitud än de andra 2 grupperna (över eller nära trädgränsen). Sjöarna i denna grupp är näringsfattiga och har klarare vatten (Tabell 10) och har *Heterotrissocladius* som indikatortaxa.

Tabell 10. Medelvärden (\pm standard avvikelse) för typologivariabler och utvalda vattenkemiska variabler för TWINSPAN-grupperna (profundalfaunan).

TWINSPAN-grupp	1 (n=22)	2 (n=18)	3 (n=16)
Variabel			
Altitud (m.ö.h.)	107 \pm 59	239 \pm 188	420 \pm 247
Sjöarea (km ²)	1,15 \pm 2,92	1,36 \pm 1,49	3,30 \pm 4,77
Medeldjup (m)	5,6 \pm 5,4	3,7 \pm 2,2	8,8 \pm 2,8
Alkalinitet (mekv/l)	1,115 \pm 0,074	1,224 \pm 0,511	1,149 \pm 0,160
Ca (mekv/l)	0,205 \pm 0,086	0,294 \pm 0,521	0,173 \pm 0,168
Absorbans F (420/5)	0,121 \pm 0,080	0,134 \pm 0,107	0,079 \pm 0,051
pH	6,56 \pm 0,30	6,59 \pm 0,55	6,74 \pm 0,30
Total-P (μ g/l)	10,4 \pm 2,4	10,2 \pm 3,3	6,2 \pm 1,6
Skog (%)	78 \pm 11	72 \pm 14	62 \pm 33
Jordbruk (%)	2,6 \pm 4,6	2,7 \pm 5,1	0,18 \pm 0,32
Kalfjäll (%)	0	0,78 \pm 3,3	25 \pm 78

2.3 Bottenfauna i vattendrag (Riksinventeringen 2000).

2.3.1 Klassificering av vattendrag med avseende på bottenfauna

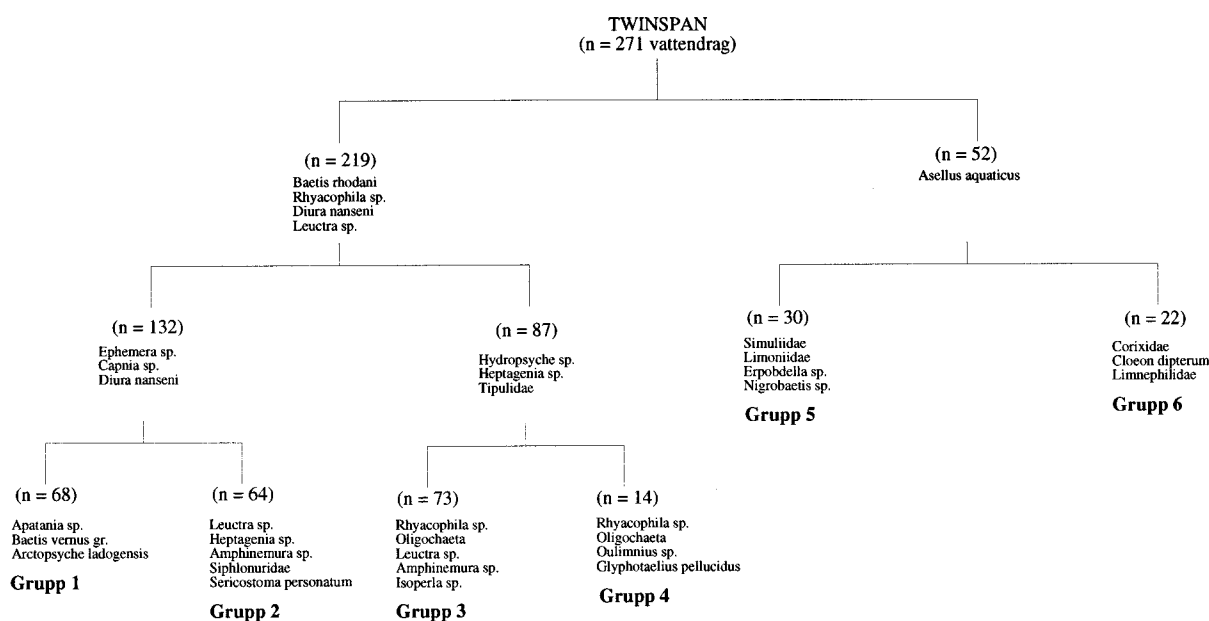
Klassificering av vattendrag som var provtagen för bottenfauna i riksinventering 2000 enligt den föreslagna svenska typologin (Fölster m fl. 2002) visas i tabell 11. Kiselhaltiga vattendrag dominerar på det Boreala höglandet där de utgör 68% av vattendragen. 25,5% av vattendragen i denna region är humusrika och endast några få har kalkhaltig geologi. I den Fennoskandiska regionen dominerar i stället humusrika vattendrag, 78% i höjdintervallet 200–800 m och 79% under 200 m.ö.h. På Centralsslätten dominerar vattendrag med kalkhaltig och humusrik geologi.

Tabell 11. Vattendragstyper för riksinventeringsvattendrag ($n = 260$) klassade till vattendragstyp enligt Fölster m fl. (2002). Notera att ekoregion inte är del av den föreslagna typologin. ARO = avrinningsområde.

N	Ekoregion	Altitud (m.ö.h.)	ARO (km ²)	Geologi
32	Boreala höglandet	200-800 m	10-100	kiselhaltig
25	Boreala höglandet	> 800 m	10-100	kiselhaltig
21	Boreala höglandet	200-800 m	10-100	humusrik
10	Boreala höglandet	200-800 m	100-1000	kiselhaltig
6	Boreala höglandet	200-800 m	100-1000	humusrik
5	Boreala höglandet	> 800 m	100-1000	kiselhaltig
4	Boreala höglandet	200-800 m	10-100	kalkhaltig
1	Boreala höglandet	> 800 m	10-100	kalkhaltig
1	Boreala höglandet	200-800 m	100-1000	kalkhaltig
1	Boreala höglandet	> 800 m	100-1000	kalkhaltig
50	Fennoskandia	200-800 m	10-100	humusrik
11	Fennoskandia	200-800 m	100-1000	humusrik
8	Fennoskandia	200-800 m	10-100	kiselhaltig
4	Fennoskandia	200-800 m	10-100	kalkhaltig & humusrik
2	Fennoskandia	200-800 m	100-1000	kiselhaltig
2	Fennoskandia	200-800 m	10-100	kalkhaltig
1	Fennoskandia	200-800 m	100-1000	kalkhaltig & humusrik
14	Fennoskandia	<200 m	10-100	humusrik
5	Fennoskandia	<200 m	100-1000	humusrik
4	Fennoskandia	<200 m	10-100	kalkhaltig & humusrik
1	Fennoskandia	<200 m	10-100	kalkhaltig
31	Centralsslätten	<200 m	10-100	kalkhaltig & humusrik
16	Centralsslätten	<200 m	10-100	humusrik
3	Centralsslätten	<200 m	10-100	kiselhaltig
3	Centralsslätten	200-800 m	10-100	kalkhaltig & humusrik
2	Centralsslätten	200-800 m	10-100	humusrik
1	Centralsslätten	200-800 m	10-100	kiselhaltig
1	Centralsslätten	<200 m	10-100	kalkhaltig
1	Centralsslätten	<200 m	100-1000	kalkhaltig
1	Centralsslätten	<200 m	100-1000	kalkhaltig & humusrik

2.3.2 TWINSPAN gruppering

De 271 vattendrag som klassades som "referens" delades av TWINSPAN i sex grupper (Figur 7). Vid den första TWINSPAN division delades de 271 vattendrag i två grupper, med en dagslända (*Baetis rhodani*), en husmask (*Rhyacophila* sp.) och två bäcksländor (*Diura nanseni* och *Leuctra* sp.) som indikator taxa för en grupp av 219 vattendrag och *Asellus aquaticus* som en indikator art för den andra grupp av 52 vattendrag. De indikator arter i den grupp med 219 vattendrag delvis indikerar norrlands vattendrag (t ex *Diura nanseni*) och delvis näringsfattiga vatten, medan förekomsten av *Asellus aquaticus* som en indikator taxa kan tyda på mer eutrofa förhållanden. Denna antagande för stöd av de indikator taxa som anges för grupp 5 (n = 30) och 6 (n = 22); flera av dessa taxa förekommer i näringsrika vatten (t ex. Simuliidae, *Erpobdella* och *Cloeon dipterum*). Den grupp av 219 vattendrag delades ytterligare i fyra grupper. Grupp 1 (n = 68 vattendrag) hade *Apatania* sp., *Baetis vernus* och *Arctopsyche ladogensis* som indikator taxa. Grupp 2 (n = 87) hade husmasken *Hydropsyche* sp., dagsländan *Heptagenia* sp. och Tipulidae som indikator taxa. Grupp 3 (n = 73) och 4 (n = 14) hade två indikator taxa gemensamt (*Rhyacophila* och Oligochaeta).



Figur 7. TWINSPAN analys av bottenfauna i Riksinventeringsvattendrag som klassats som "referens" vattendrag.