



# rapport

IVL Svenska Miljöinstitutet AB

## Uppföljning av miljömål för försurning och näringstillstånd i skogsmark i Stockholms län

Olle Westling & Therese Zetterberg

B1632

Juni 2005



<b>Organisation/Organization</b> IVL Svenska Miljöinstitutet AB IVL Swedish Environmental Research Institute Ltd.	<b>RAPPORTSAMMANFATTNING</b> <b>Report Summary</b>
<b>Adress/address</b> Box 5302 400 14 GÖTEBORG	<b>Projekttitel/Project title</b>
<b>Telefonnr/Telephone</b> 031-725 62 00	<b>Anslagsgivare för projektet/ Project sponsor</b>  Länsstyrelsen i Stockholms län
<b>Rapportförfattare/author</b> Olle Westling & Therese Zetterberg	
<b>Rapportens titel och undertitel/Title and subtitle of the report</b> Uppföljning av miljömål för försurning och näringstillstånd i skogsmark i Stockholms län	
<b>Sammanfattning/Summary</b> <p>Syftet med utvärderingen var att: 1) beskriva tillstånd och utvecklingen i länet med inriktning på försurning och näringstillstånd i mark och vatten i skogslandskapet, samt 2) markvattenmätningarnas användbarhet för uppföljning av de svenska miljökvalitetsmålen. Undersökningarna av markvatten har utförts i elva provtytor med barrskog under perioden 1992 till 2004.</p> <p>En trend som visar på återhämtning från försurning är tydlig i Stockholms län, även om inte alla skogsytor uppvisar säkerställda förändringar. Återhämtning sker oavsett skogsytornas surhet när mätningarna började. Undantag är en kalkrik lokal som aldrig påverkats av sentida försurning. Att en återhämtning sker när svavelnedfallet minskar visar även att skogsytorna, utom den kalkrika lokalen, varit påverkade av tidigare nedfall av försurande luftföroreningar.</p> <p>De undersökta skogsytorna i Stockholms län ligger i en riskzon beroende på att kvoten mellan kol och kväve i markens översta skikt är så låg att ytterligare tillförsel av kväve kan orsaka ökad utlakning.. Än så länge är det svårt att se tydliga tecken på förhöjd utlakning av oorganiskt kväve från skogsytorna i Stockholms län, även om vissa lokaler ibland uppvisar något förhöjda halter av ammoniumkväve.</p>	
<b>Nyckelord samt ev. anknytning till geografiskt område eller näringsgren /Keywords</b> Försurning, övergödning, skogsmark, markvatten, miljömål, Stockholms län	
<b>Bibliografiska uppgifter/Bibliographic data</b> IVL Rapport/report	
<b>Rapporten beställs via /The report can be ordered via</b> Hemsida: <a href="http://www.ivl.se">www.ivl.se</a> , e-mail: <a href="mailto:publicationservice@ivl.se">publicationservice@ivl.se</a> , fax: 08-598 563 90 eller IVL, Box 210 60, 100 31 Stockholm.	

## Innehåll

Sammanfattning .....	2
1. Bakgrund .....	3
2. Dataunderlag .....	3
3. Tidsutveckling av halter i markvatten .....	4
4. Trender i surt nedfall .....	9
5. Jämförelser med angränsande län .....	10
6. Samband mellan mark och markvatten .....	12
7. Markvattenmätningar som indikator på miljötilstånd .....	13
8. Markvattenkvalitet och miljökvalitetsmålen .....	14
9. Läs vidare .....	15

## Sammanfattning

IVL Svenska Miljöinstitutet har utvärderat undersökningar av markvatten på uppdrag av Länsstyrelsen i Stockholms län. Syftet med utvärderingen var att: 1) beskriva tillstånd och utvecklingen i länet med inriktning på försurning och näringstillstånd i mark och vatten i skogslandskapet, samt 2) markvattenmätningarnas användbarhet för uppföljning av de svenska miljö kvalitetsmålen. Undersökningarna av markvatten har utförts i elva provtyper med barrskog under perioden 1992 till 2004.

En trend som visar på återhämtning från försurning är tydlig i Stockholms län, även om inte alla skogsytor uppvisar säkerställda förändringar. Återhämtning sker oavsett skogsytornas surhet när mätningarna började. Undantag är en kalkrik lokal som aldrig påverkats av sentida försurning. Att en återhämtning sker när svavelnedfallet minskar visar även att skogsytorna, utom den kalkrika lokalen, varit påverkade av tidigare nedfall av försurande luftföroreningar.

De undersökta skogsytorna i Stockholms län ligger i en riskzon beroende på att kvoten mellan kol och kväve i markens översta skikt är så låg att ytterligare tillförsel av kväve kan orsaka ökad utlakning. De låga kvoterna är troligen delvis en effekt av historiken, hur marken har använts tidigare, men även kvävenedfall under lång tid kan ha påverkat. Än så länge är det svårt att se tydliga tecken på förhöjd utlakning av oorganiskt kväve från skogsytorna i Stockholms län, även om vissa lokaler ibland uppvisar något förhöjda halter av ammoniumkväve. Fortsatta markvattenmätningar kan indikera om kväveomsättningen förändras. Om utlakningen av oorganiskt kväve från skogsmark ökar kan det ha stor inverkan på både försurning och övergödning.

Den största osäkerheten med markvattenmätningar som indikator på förändringar av miljötillståndet är sannolikt frågan om ett fåtal undersökta lokaler kan representera den troliga utvecklingen i ett helt län. Övervakningen i skogsytor bör därför kompletteras med yttäckande karteringar av näringsbalanser i skogsmark.

## 1. Bakgrund

IVL Svenska Miljöinstitutet har utvärderat undersökningar av markvatten på uppdrag av Länsstyrelsen i Stockholms län. Syftet med utvärderingen var att: 1) beskriva tillstånd och utvecklingen i länet med inriktning på försurning och näringstillstånd i mark och vatten i skogslandskapet, samt 2) markvattenmätningarnas användbarhet för uppföljning av de svenska miljö kvalitetsmålen.

De mål och delmål som är möjliga att belysa med undersökningar av skogsmark och markvatten är främst:

*Bara naturlig försurning* med delmålet:

- Före år 2010 ska trenden mot ökad försurning av skogsmarken vara bruten i områden som försurats av människan och en återhämtning ska ha påbörjats.

Regeringens bedömning i ett generationsperspektiv för Miljö kvalitetsmålen:

*Levande skogar*:

- Skogsmarkens naturgivna produktionsförmåga bevaras
- Skogsekosystemets naturliga funktioner och processer upprätthålls

*Ingen övergödning*:

- Skogsmark har ett näringstillstånd som bidrar till att bevara den naturliga artsammansättningen.

## 2. Dataunderlag

Data på markvatten och deposition är hämtade från det nationella Krondroppsnätet ([www.ivl.se/miljo/projekt/kron/](http://www.ivl.se/miljo/projekt/kron/)), där undersökningarna sker länsvis på uppdrag av Luftvårdsförbund, Länsstyrelser och Naturvårdsverket. I Stockholms län har undersökningarna även stötts ekonomiskt av Vägverket Region Stockholm, Söderenergi AB, AB Fortum Värme samt Luftfartsverket. Sammanlagt ingår elva skogsytor i Stockholms län i utvärderingen (figur 1). Samtliga skogsytor har äldre granskog med undantag för Bergby (A01) i Vallentuna kommun som har drygt 70-årig tallskog. Jämförelser mellan markvatten och markkemi baseras på data från Länsstyrelsen undersökningar av markkemi i skogliga provtytor i Stockholms län 1997.

Markvattenmätningarna omfattar i regel tre mättillfällen per år med analys av pH, alkalinitet, Ca, Mg, Na, K NH<sub>4</sub>-N, SO<sub>4</sub>-S, NO<sub>3</sub>-N, Cl, Fe, Mn, oorg Al och tot Al. Provtagningen sker med så kallade undertryckslysimetrar (typ P80) på 50 cm djup. För

vissa provtagningstillfällena och lokaler saknas det värden i markvatten, speciellt efter 2002, på grund av torra förhållanden. Motsvarande data för jämförelse med Stockholms län finns tillgängliga från skogsytor i flertalet andra län inom Krondroppsnätet. Dessutom finns andra data på deposition, skogstillstånd och markegenskaper från flertalet skogsytor.



Figur 1. Skogslokaler i Stockholms län med markvattenmätningar.

### 3. Tidsutveckling av halter i markvatten

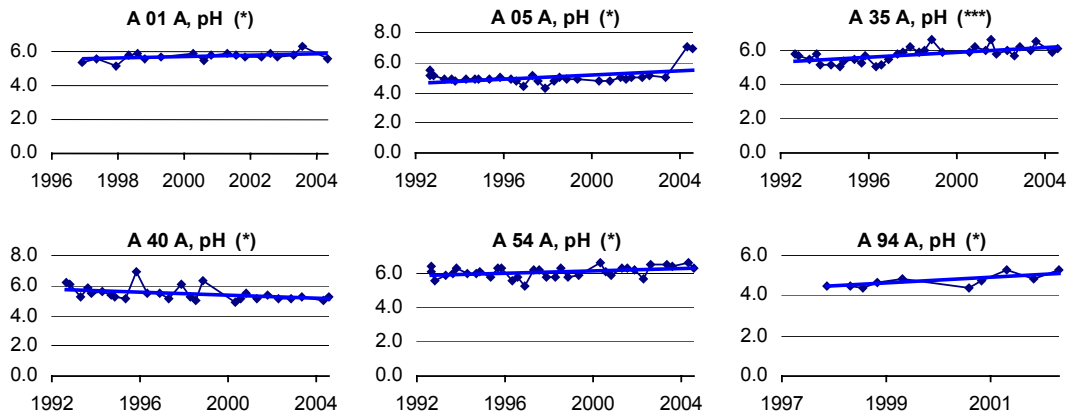
Statistiskt säkerställda förändringar av halter i markvatten har studerats med hjälp av linjär regression. De tillgängliga tidsserierna på markvatten har varierande längd, på flertalet lokaler börjar mätningarna 1992, på övriga senare. Resultaten sammanfattas i tabell 1 som visar i vilken riktning de olika förändringarna gått på de tio lokalerna. Den elfte lokalen, Järinge (A04), med kalkrik mark uppvisar inga säkerställda förändringar

av markvattenkvaliteten under den studerade perioden. Tabell 1 ger en samlad bild av vilka parametrar och lokaler som uppvisar en förändring. Tidsutvecklingen av halter av olika ämnen i markvatten visas i figurerna 2-7. Den generella bilden är att pH ökar på flera lokaler samtidigt som många andra katjoner som kalium och oorganiskt aluminium minskar. Även minskade halter av mangan, där försurning ökar rörligheten, är tydliga. Förändringarna sker samtidigt som halten av sulfat i markvatten sjunker, som en reaktion på det minskade nedfallet av svavel (se figur 8).

**Tabell 1.** Statistiskt säkerställda förändringar av halter i markvatten på tio skogslokaler i Stockholms län. Tabellen anger korrelationskoefficienterna där negativt värde anger en minskning av halterna och positiva värden en ökning. Höga tal anger statistiskt säkrare förändringar än låga tal.

Lokal	A 01	A 05	A 21	A 24	A 35	A 40	A 44	A 54	A 92	A 94
Mätserien										
börjar	1996	1992	1992	1992	1992	1992	1992	1992	1994	1997
pH	0.48	0.43			0.65	-0.43		0.38		0.73
Ca			-0.56		-0.76	-0.41				
Mg		0.39			-0.54					
Na						0.40		0.48		
K	-0.66		-0.57			-0.42	-0.71	-0.60		
SO <sub>4</sub>	-0.72	0.48	-0.44		-0.44			-0.51		
CL					-0.45					
NO <sub>3</sub>		0.37					-0.55			
NH <sub>4</sub>	0.49				0.50	0.61	0.43			
Fe	-0.46				0.37					
Mn		-0.75	-0.67	-0.72			-0.70	-0.62	-0.52	
org Al				0.74		0.61	0.59			
oorg Al	-0.54		-0.73		-0.65		-0.53	-0.66		
TOC			-0.41							
ANC		0.48				-0.47	0.38			

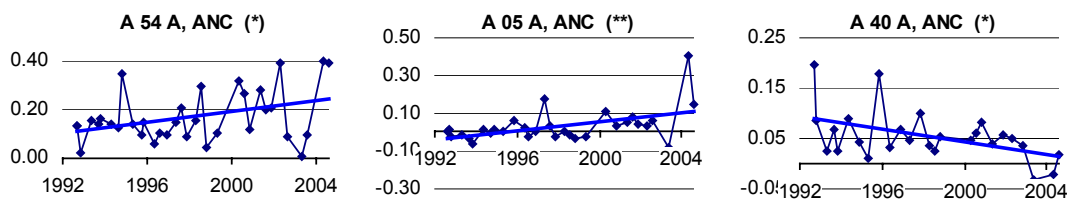
Sex lokaler visar upp säkerställda förändringar av pH-värdet i markvatten. Dessa är Bergby (A01), Sticklinge (A05), Farstanäs (A35), Lämshaga (A40), Mjölsta (A54) och Ulriksdal (A94), figur 2. För alla lokaler utom Lämshaga har pH-värdet ökat, i Lämshaga har det istället minskat. De fem lokalerna med ökat pH representerar ett brett intervall i surhetsgrad, vilket innebär att ökningen har skett oberoende av utgångsläget.



**Figur 2.** Säkerställda förändringar av pH-värdet i markvatten i Stockholms län.

Endast tre lokaler visar säkerställda förändringar av ANC (syranneutraliserande förmåga) i markvatten, Sticklinge (A05), Mjölsta (A54) samt Lämshaga (A40). Precis som för pH-värdet visar Lämshaga en signifikant minskning av ANC, medan ANC ökar i markvattnet på de andra två lokalerna, figur 3. Det är oklart varför Lämshaga visar tecken på ökad försurning. Skogsytan har relativt grunt jordtäckte och ligger i en sluttning. Eventuellt kan vatten från sidan trängt in i ytan och orsakat förändringar i markvattenkvaliteten under senare år.

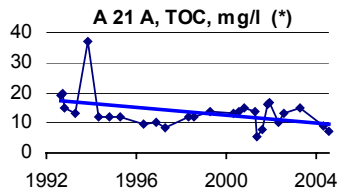
ANC är en viktig parameter för att beskriva motståndskraft mot försurning. Halterna är normalt relativt låga i naturligt sur skogsmark, men värden nära eller under 0 indikerar ofta en försurningspåverkan som kan leda till skadliga effekter i grund- och ytvatten.



**Figur 3.** Förändringar i halten av ANC(mekv/l) i markvatten.

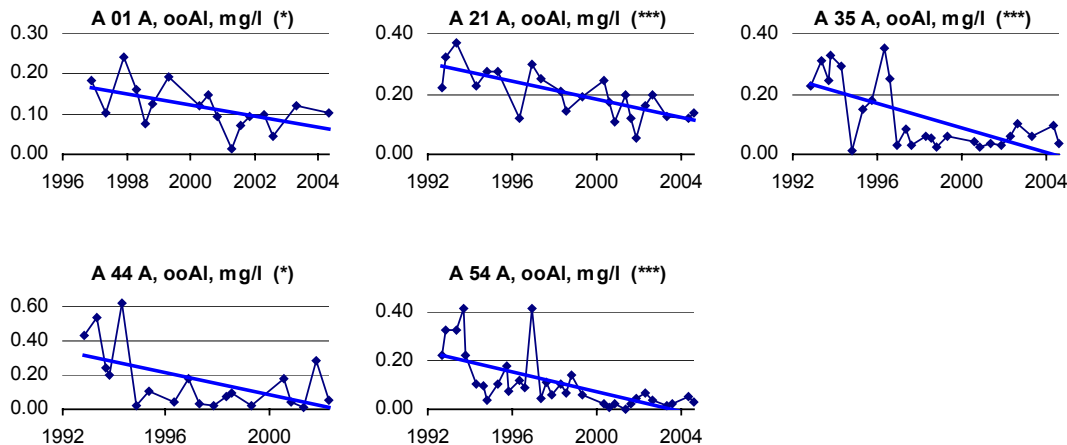
Endast en lokal, Alby (A21), visar upp en signifikant förändring av organiskt kol (TOC), humusämnen, i form av en minskning i markvatten (figur 4). Minskade halter av TOC i markvatten under senare år är vanligt i stora delar av Götaland. Troligen är det en effekt av minskad svavelbelastning, liksom för många andra parametrar.





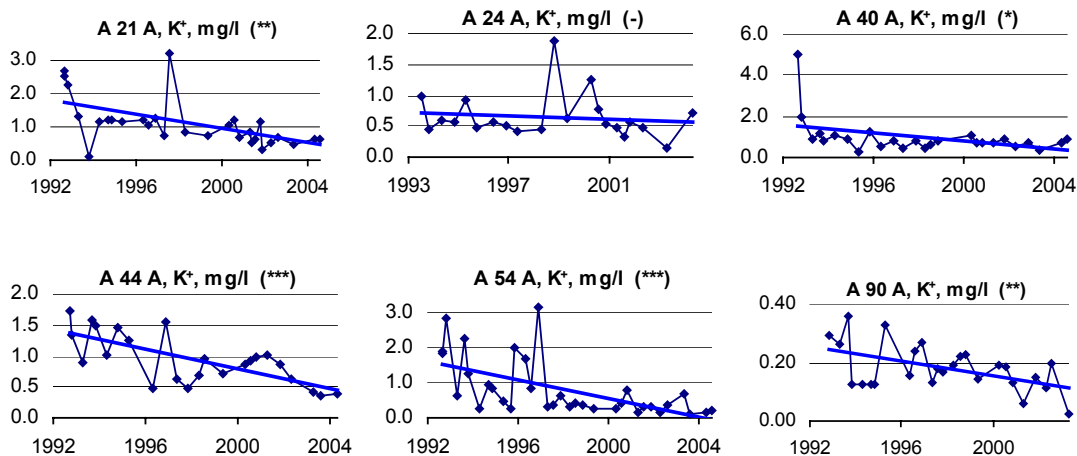
Figur 4. Förändringar i halten av TOC i markvatten.

En minskad försurningsbelastning på skogsmarken indikeras normalt av minskade halter av oorganiskt aluminium i markvatten. Oorganisk aluminium är den skadliga formen för organismer, främst i vattenmiljön. Totalt visade fem lokaler säkerställda minskningar av halterna; Bergby (A01), Alby (A21), Farstanäs (A35), Gladö (A44) samt Mjölsta (A54), figur 5. Minskningen var i samtliga fall relativt stor.



Figur 5. Förändringar i halten av oorganiskt aluminium i markvatten.

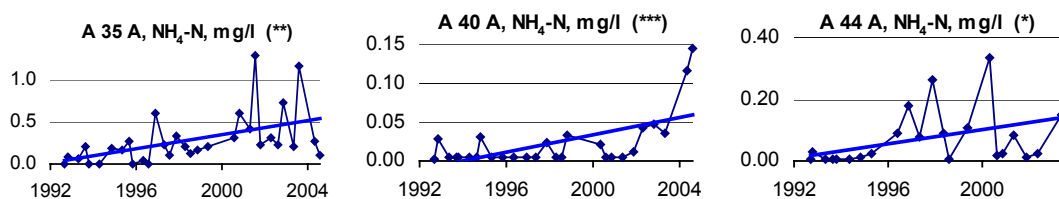
Det sjunkande halterna av sulfat i markvatten gör att flertalet katjoner minskar och det gäller inte bara försurningsindikerande parametrar som vätejoner (pH) och oorganiskt aluminium. Även de så kallade baskatjonerna (Ca, Mg, Na, och K) minskar, vilket i sura jordar kan ge mycket låga halter i markvatten. Figur 6 visar kalium där säkerställda minskningar har noterats på sex lokaler. I några fall är halterna numera mycket låga, som till exempel i Mjölsta (A54) som utmärker sig med en för produktiv skogsmark gammal granskog, 115-120 år.



Figur 6. Förändringar i halten av kalium i markvatten.

Minskade halter av både baskatjoner (BC) och oorganiskt aluminium i markvatten kan innebära att kvoten mellan dem inte minskar. Kvoten 1 (räknat på mol) i skogsmark används ofta som en gräns, bland annat vid beräkning av kritisk belastning för försurning, där lägre värden ökar risken för försurningsskador. Det finns en stark koppling mellan markens basmättnadsgrad och kvoten BC/oorg Al i markvatten. Så låga kvoter som 1 mäts inte upp i provytorna i Stockholms län och en förändring, uppåt eller neråt, kräver att markkemin ändras. Eftersom det inte finns någon säkerställd ökning eller minskning av kvoten i markvatten i länet indikerar det att det inte skett någon tydlig förändring av markkemin i skogsytorna under den studerade perioden.

Endast två lokaler visar en säkerställd, men relativt liten, förändring av nitrathalter i markvatten. Förhöjda halter indikerar hög kvävebelastning eller någon form av störning i kväveomsättningen i skogen. Skogens tillväxt är normalt begränsad av tillgången på kväve, vilket gör att utlakningen är låg i växande skog. I det ena fallet kunde en signifikant minskning påvisas för Gladö (A44) och i det andra fallet en signifikant ökning för Sticklinge (A05). Det bör dock poängteras att i det första fallet beror resultatet troligtvis på en initial störning när provytan etablerades och i det andra fallet på grund av ett enda högt värde i slutet av 2004. Utöver nitrat har ammoniumkväve påträffats på några lokaler på senare tid (figur 7), i synnerhet i skogsytan Farstanäs (A35) som är en bördig lokal med brunjord av övergångstyp.

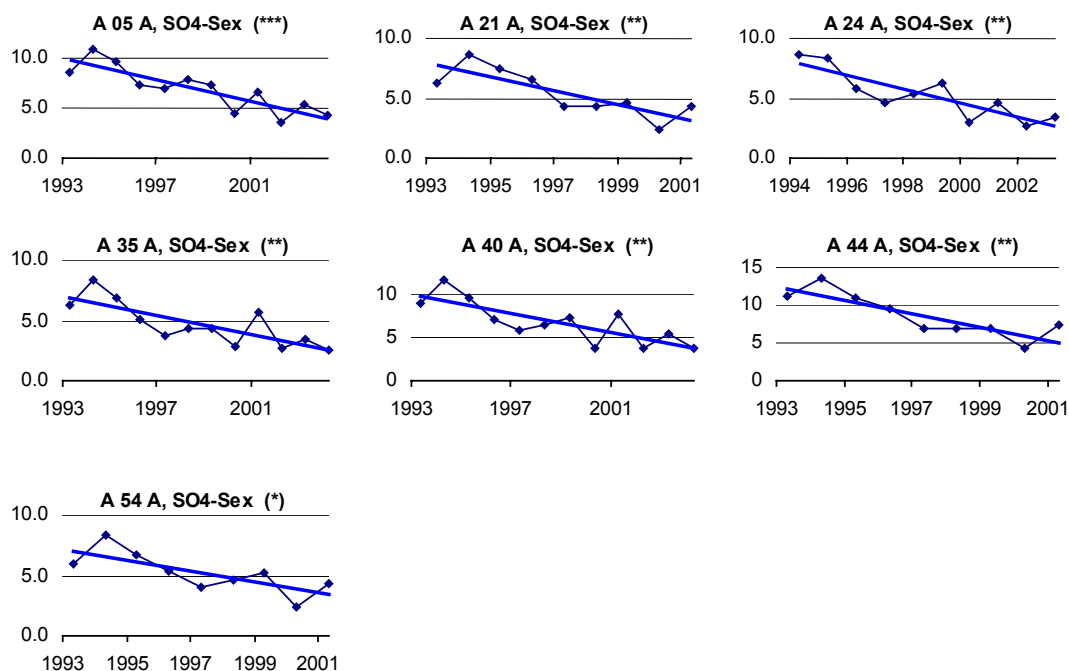


Figur 7. Förändringar i halten av ammoniumkväve i markvatten.

## 4. Trender i surt nedfall

Säkerställda minskningar av svavelnedfallet (där havssaltet är borträknat) från krondroppsmätningar noteras på sju lokaler i Stockholms län, Sticklelinge (A05), Alby (A21), Säbysjön (A24), Farstanäs (A35), Lämshaga (A40), Gladö (A44) samt Mjölsta (A54), figur 8. Övriga lokaler har sannolikt utvecklats på samma sätt men mätserierna är för korta för att visa det. Mätningarna i Stockholms län påbörjades 1992/93 på flertalet lokaler, men kulmen i svavelnedfall var långt tidigare, sannolikt i slutet av 1970-talet eller i början av 1980-talet. Det gör att skogsmarken i Stockholms län under många år tagit emot betydligt mer svavel än vad dessa mätningar visat som mest. Mot den bakgrunden är det rimligt att många skogslokaler visar tecken på återhämtning från försurning.

Nedfallet av kväve har inte minskat tydligt de senaste tio åren. Kväve bidrar inte direkt till försurning om det tas upp av träd och andra organismer i skogen. Överskott på kväve kan dock på sikt leda till ökad omsättning (nitrifikation), som är en starkt försurande process. Mätningarna av oorganiskt kväve (nitrat och ammonium) i markvatten är en bra indikator på i vilken utsträckning utlakning av kväve sker från en provyta i skog.



Figur 8. Svavelnedfall i form av krondropp i skogsytor i Stockholms län (kg/ha).

## 5. Jämförelser med angränsande län

Säkerställda förändringar av markvattenkemin i Stockholms län (tabell 2) har jämförts med näraliggande län i mellersta Sverige (tabell 3-5) för ett urval försurningsindikerande parametrar.

Flera av lokalerna i Stockholms län uppvisar en tydlig förändring mot ett mindre surt tillstånd i markvatten i takt med minskat nedfall av svavel, som tidigare visats i bland annat tabell 1.

**Tabell 2.** Ett urval av försurningsindikerande parametrar som uppvisade säkerställda förändringar i Stockholms län. + betyder ökning och – minskning av halterna i markvatten.

Lokal	pH	ANC	SO <sub>4</sub> ex	TOC	oorg Al	NO <sub>3</sub>
A01	+				-	
A05	+	+	-			+
A21			-	-	-	
A24			-			
A35	+		-		-	
A40	-	-	-			
A44			-		-	-
A54	+	+	-		-	
A94	+					

Generellt visar resultaten från angränsande län en mer otydlig bild av förändringar av halter i markvatten än de från Stockholms län. Både Östergötland och Södermanlands län har lokaler som fortsätter att försuras trots minskat nedfall. Västmanland påminner mest om Stockholms län med tydliga tecken på återhämtning från försurning. Orsaken till att reaktionen på minskat nedfall av försurande luftföroreningar varierar mellan län och skogsytor är att graden av tidigare påverkan är olika. Skogsytor som aldrig haft någon stor påverkan kan inte heller förväntas återhämta sig från försurning orsakad av luftföroreningar. Om försurningen ökar beror det på någon annan faktor som biologisk försurning från hög skogstillväxt. De tecken på tydlig återhämtning som finns i Stockholms län, och i många andra län i södra och mellersta Sverige, är en bra indikation på att de varit påverkade av luftföroreningar. Dessutom indikerar mätningarna i markvatten att den minskade belastningen är tillräcklig för att ge en tydlig återhämtning.

**Tabell 3.** Ett urval av försurningsindikerande parametrar som uppvisade säkerställda förändringar i Västmanlands län. + betyder ökning och – minskning av halterna i markvatten

Lokal	pH	ANC	SO <sub>4</sub> ex	TOC	oorg Al	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
U01	+	+		-	-	
U02		+		-		
U03	+				-	
U04			-	-		
U05		+	-	-		

**Tabell 4.** Ett urval av försurningsindikerande parametrar som uppvisade säkerställda förändringar i Östergötlands län. + betyder ökning och – minskning av halterna i markvatten.

Lokal	pH	ANC	SO <sub>4</sub> ex	TOC	oorg Al	NO <sub>3</sub>
E02			-			
E03		+			-	
E04	-				-	
E08		+	-	-		
E10						-
E15	-					
E21	+	+			-	
E22			-	-	+	
E28	-					
E54	-	-		-		-

**Tabell 5** Ett urval av försurningsindikerande parametrar som uppvisade säkerställda förändringar i Södermanlands län. + betyder ökning och – minskning av halterna i markvatten.

Lokal	pH	ANC	SO <sub>4</sub> ex	TOC	oorg Al	NO <sub>3</sub>
D01	-					
D05						+
D06	-					
D12				-		
D14			-			
D50	-					
D51			-	-		
D52			-			

## 6. Samband mellan mark och markvatten

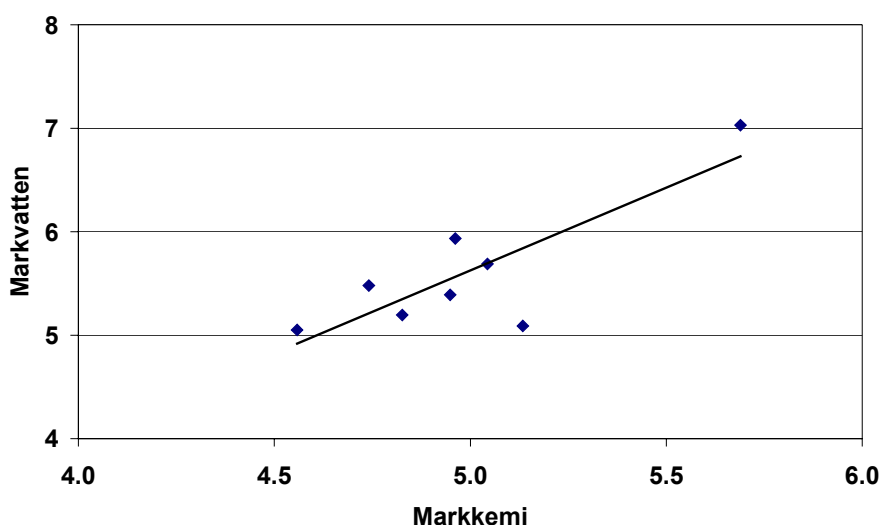
Markkemin i provytorna har undersökts av Länsstyrelsen under 1997. Flertalet lokaler uppvisar värden på pH(H<sub>2</sub>O), utbytbara katjoner (efter extraktion med ammoniumacetat) och basmättnadsgrad (V, summa baskatjoner dividerat med summa alla katjoner) som är typiska för relativt näringsfattiga skogsjordar. Tabell 6 visar värden från det mineraljordsskikt som närmast motsvarar djupet där markvattnet provtas. Framför allt Järinge (A04) och i viss mån Sticklinge avviker genom höga halter av utbytbar kalcium som ger hög basmättnadsgrad. Kvoterna mellan kol och kväve i humusskiktet, som också framgår av tabell 6, är generellt relativt låga. Högst kvot noteras i Bergby (A01) med tallskog och sandig moig moränmark. Kvoter under 25 anses öka risken för förhöjd utlakning av oorganiskt kväve. Många av jordarna i provytorna i Stockholms län är av övergångstyp (från brunjord till podsol) som ofta naturligt har lägre C/N kvoter än podsoljordar. Det finns dock skäl att vara observant på effekter av förhöjt kvävenedfall på dessa jordar.

Markvattnet i skogsyterna integrerar alla biogeokemiska processer som sker i skogsmarken. Nedfall, markkemi, trädens upptag av näringsämnen, nedbrytningsprocesser och hydrologi påverkar vilka halter som uppmäts i markvatten vid en given tidpunkt. Markvattnet representerar främst vad som utlakas från skogsmarkens rotzon och vilka halter och mängder av olika ämnen som tillförs grund- och ytvatten. I den grova skalan, från kalkrika till sura näringsfattiga jordar, finns ett starkt samband mellan markkemi och markvattnets egenskaper. ”Normala” skogsjordar är ofta naturligt näringsfattiga och svagt sura, vilket gör att sambandet mellan mark och vatten inte alltid är uppenbart vid en given tidpunkt.

**Tabell 6.** Markkemi i mineraljorden (skikt R2 i Länsstyrelsens undersökning) i skogsytor i Stockholm län 1997. Kvoten kol/kväve (C/N) är dock uppmätt i humusskiktet. Prov R2 utgörs av skiktet 10-20 cm räknat från rostjordens övre gräns. I brunjord med tydlig mulltogs provet R2 på 20-30 cm djup från markytan räknat.

		pH	H+	Al	Ca	Mg	Na	K	V	C/N
		H <sub>2</sub> O			mekv/100g				%	humus
Bergby	A 01	5.04	2.29	0.14	0.85	0.01	0.10	0.08	30	28.2
Järinge	A 04	5.69	0.19	0.02	6.13	0.27	0.14	0.07	96	22.1
Sticklinge	A05	5.13	1.51	0.17	1.95	0.52	0.08	4.94	82	20.0
Alby	A21	4.95	1.80	0.20	0.59	0.13	0.82	0.07	47	22.2
Farstanäs	A35	4.96	1.12	0.10	0.17	0.03	0.02	0.03	17	24.5
Lämshaga	A40	4.83	1.82	0.16	0.31	0.09	0.03	0.07	20	23.8
Gladö	A44	4.74	2.01	0.21	0.50	0.11	0.03	0.13	26	24.8
Ulriksdal	A94	4.56	1.50	0.13	0.11	0.03	0.01	0.04	33	25.3

Så är fallet även i provytorna i Stockholms län. Denna utvärdering har jämfört medianvärden i markvatten under de tre senaste åren med skogsytornas kemi i mineraljorden (se tabell 6). Den enda parameter som samvarierade var pH i markvatten och i jord (jordprovet slammas upp i vatten), figur 9. De för skogsjordar höga pH-värdena uppmättes i Järinge (A04) med kalkrik jord. Övriga parametrar uppvisade inget samband med undantag för Järinge där höga halter av kalcium, i förhållande till andra lokaler, uppmättes i både mark och markvatten.



Figur 9. Samband mellan pH i markvatten och pH(H<sub>2</sub>O) i jord

## 7. Markvattenmätningar som indikator på miljötillstånd

Markvattenmätningar är normalt en relativt känslig metod att beskriva förändringar i försurningsstatus i skogsmark. Det är dock viktigt att komma ihåg att markvattnet visar en summerad bild av alla processer i skogsmarken. Det innebär till exempel att markvattnet kan bli mindre surt utan att marken förändras om nedfallet av sura luftföroreningar minskar. Utlakningen är en ”ventil” där överskott av syra kan föras bort från skogsmarken när försurningsbelastningen är för stor. Omvänt visar utlakning av basiska ämnen att det finns kapacitet att neutralisera syratillförsel. När markvattenkvalitén förändras så att den är mindre sur, uttryckt som ökat pH och ANC, samt minskade halter av oorganiskt aluminium, innebär det att hela skogsekosystemet är mindre försurningspåverkat. Även om inte alla skogsytor i Stockholms län uppvisar säkerställda förändringar som visar på återhämtning från försurning så är trenden klar. En återhämtning är tydlig oavsett skogsytornas surhet när mätningarna började. Undantag är den kalkrika lokalen Järinge (A04) som aldrig påverkats av sentida

försurning. Att en återhämtning sker när svavelnedfallet minskar visar även att skogsytorna, utom Järinge, varit påverkade av tidigare nedfall av försurande luftföroreningar.

Markvattenmätningarna visar halter och förändringar med tiden av näringsämnen. På samma sätt som för försurande ämnen är utlakningen ett mått på tillgången i skogsekosystemet. Tydligast är det för oorganiskt kväve, överskott som beror på hög tillförsel eller störd kväveomsättning visar sig i förhöjda halter av främst nitratkväve i markvatten. Även höga och låga halter av andra näringsämnen kan indikera en störning, eller risk för framtida effekter. De undersökta skogsytorna i Stockholms län ligger i en riskzon beroende på att kvoten mellan kol och kväve i markens översta skikt är så låg att ytterligare tillförsel av kväve kan orsaka ökad utlakning. De låga kvoterna är troligen delvis en effekt av historiken, hur marken har använts tidigare, men även kvävenedfall under lång tid kan ha påverkat. Än så länge är det svårt att se tydliga tecken på förhöjd utlakning av oorganiskt kväve från skogsytorna i Stockholms län, även om vissa lokaler ibland uppvisar något förhöjda halter av ammoniumkväve. Fortsatta markvattenmätningar kan indikera om kväveomsättningen förändras. Om utlakningen av oorganiskt kväve från skogsmark ökar kan det ha stor inverkan på både försurning och övergödning. Det finns exempel från södra Sverige där försurningen minskat påtagligt när svavelnedfallet avtog, men på senare år är försurningen i princip lika stark som för 15 år sedan på grund av ökad omsättning (nitrifikation) av kväve, som är en starkt försurande process.

Den största osäkerheten med markvattenmätningar som indikator på förändringar av miljötillståndet är sannolikt frågan om ett fåtal undersökta lokaler kan representera den troliga utvecklingen i ett helt län. Samtidigt är det inte realistiskt att utöka mätningarna till ett så stort antal platser att ett statistiskt urval säkerställs. De relativt intensiva mätningarna i skogsytorna av nedfall, skogstillstånd, samt mark- och markvattenkemi bör kompletteras med mer översiktliga och yttäckande karteringar och massbalanser för försurande och övergödande ämnen. Det kan göras på ett likartat sätt som görs vid beräkning av kritisk belastning och överskridande av syratillförsel och kvävenedfall. För att uppnå tillräcklig upplösning, som de nationella beräkningarna inte har, krävs data på markegenskaper för att bland annat beräkna vittringshastighet, som är en nyckelprocess i beräkningarna av kritisk belastning för försurning.

## 8. Markvattenkvalitet och miljökvalitetsmålen

*”Före år 2010 ska trenden mot ökad försurning av skogsmarken vara bruten i områden som försurats av människan och en återhämtning ska ha påbörjats”.*

Markvattenmätningarna visar relativt tydligt att en återhämtning har påbörjats på flertalet undersökta skogslokaler i Stockholms län. Återhämtningen påverkas av fler faktorer än markens surhetsgrad, men det är inte sannolikt att markförsurningen ökat



under den studerade perioden. Det är svårt att med hjälp av enbart resultat från skogsytorna avgöra om återhämtningen är tillräckligt omfattande för att undvika försurningseffekter i mark och vatten i alla delar av länet. För detta krävs kompletterande karteringar.

*”Skogsmarkens naturgivna produktionsförmåga bevaras och skogsekosystemets naturliga funktioner och processer upprätthålls”.*

Markvattenmätningarna ger indirekt indikationer på näringsomsättning och skogstillväxtens miljöeffekter genom att visa om halter av olika ämnen förändras snabbt med tiden eller faller utanför normala gränser. Mätningarna i Stockholms län har inte visat på några uppenbara avvikelser, men liksom i andra områden där svavelnedfallet minskat kraftigt noteras låga halter av baskatjoner i skogsytorna med låg basmättnadsgrad. Eftersom basmättnadsgraden sannolikt minskat på grund av försurande luftföroreningar under de senaste decennierna är låga halter i markvatten delvis en kvardröjande effekt av en tidigare försurningspåverkan. Men sjunkande halter av baskatjoner i markvatten som reaktion på minskat svavelnedfall indikerar också att förlusten (utlakningen) av viktiga näringsämnen minskat från skogsmarken.

*”Skogsmark har ett näringstillstånd som bidrar till att bevara den naturliga artsammansättningen”.*

Kraftiga övergödningseffekter av kväve i skogsmarken indikeras av tillfälliga eller konstant förhöjda halter av främst nitratkväve. De förhöjda halterna är ofta ett relativt sent stadium av övergödning och effekter på skogens naturliga artsammansättning kan ske tidigare än när förändringar noteras i markvatten. Förhöjd utlakning av kväve har ofta en stor lokal variation och en bedömning av risken för onormal upplagring som kan leda till ökad utlakning bör även omfatta en yttäckande kartering av kvävebalanser i länet. För närvarande finns inte exempel på tydligt förhöjd utlakning från skogsytorna i Stockholms län, men det är viktigt att följa utvecklingen av kvävehalter i markvatten.

## 9. Läsa vidare

Akselsson C. & Westling O. 2004. Kritisk belastning och baskatjonbalanser för skogsmark i Halland. IVL Rapport B 1577.

Bara naturlig försurning. Underlagsrapport till fördjupad utvärdering av miljömålsarbetet. Naturvårdsverket Rapport 5317 2003.

Forskningsprogrammet ASTA <http://asta.ivl.se/>

Liljergren, A. (red.). 2005. Övervakning av luftföroreningar i Stockholms län. IVL Rapport B 1627.

Ingen övergödning. Underlagsrapport till fördjupad utvärdering av miljömålsarbetet. Naturvårdsverket Rapport 5319 2003.

Krondropps nätet [www.ivl.se/miljo/projekt/kron/](http://www.ivl.se/miljo/projekt/kron/)

Uggla E., Hallgren Larsson E. & Malm G. 2004. Krondropps nätet – Tidsutveckling, trendbrott och nationella miljömål. IVL Rapport B 1599.

Underlag till fördjupad utvärdering av miljö kvalitetsmålet Levande skogar. Skogsstyrelsen juli 2003.

## IVL Svenska Miljöinstitutet AB

IVL är ett oberoende och fristående forskningsinstitut som ägs av staten och näringslivet. Vi erbjuder en helhetssyn, objektivitet och tvärvetenskap för sammansatta miljöfrågor och är en trovärdig partner i miljöarbetet.

IVLs mål är att ta fram vetenskapligt baserade beslutsunderlag åt näringsliv och myndigheter i deras arbetet för ett bärkraftigt samhälle.

IVLs affärsidé är att genom forskning och uppdrag snabbt förse samhället med ny kunskap i arbetet för en bättre miljö.

### Forskning- och utvecklingsprojekt publiceras i

IVL Rapport: IVLs publikationsserie (B-serie)

IVL Nyheter: Nyheter om pågående projekt på den nationella och internationella marknaden

IVL Fakta: Referat av forskningsrapporter och projekt

IVLs hemsida: [www.ivl.se](http://www.ivl.se)

Forskning och utveckling som publiceras utanför IVLs publikationsservice registreras i IVLs A-serie.

Resultat redovisas även vid seminarier, föreläsningar och konferenser.



---

IVL Svenska Miljöinstitutet AB

IVL Swedish Environmental Research Institute Ltd

P.O. Box 210 60, SE-100 31 Stockholm  
Hälsingegatan 43, Stockholm  
Tel: +46 (0)8 598 563 00  
Fax: +46 (0) 8 598 563 90

P.O. Box 5302, SE-400 14 Göteborg  
Aschebergsgatan 44  
Tel: +46 (0)31 725 62 00  
Fax: +46 (0)31 725 62 90