

# SVERIGES LANTBRUKSUNIVERSITET

Barbro Ulén

## **VADSBROSJÖNS NÄRSALTSBELASTNING OCH TROFINIVÅ**

Arne Andersson och Arne Gustafson

## **METALLHALTER I DRÄNERINGSVATTEN FRÅN ODLAD MARK**

Arne Gustafson

## **VÄXTNÄRINGSFÖRLUSTER FRÅN ÅKERMARK I SVERIGE**

Barbro Ulén

## **EROSION AV FOSFOR FRÅN ÅKER**

Rikard Jernlås

## **KVÄVEUTLAKNINGENS FÖRÄNDRING VID REDUCERAD GÖDSLING**

---

Ekohydrologi 11

Uppsala 1982

**Avdelningen för vattenvård  
Swedish University of Agricultural Sciences  
Division of Water Management**

ISBN 91-576-1217-X  
ISSN 0347-9307

## FÖRORD

I detta nummer av *Ekohydrologi* ingår fem uppsatser. Där behandlas eutrofiering av en sjö, metallhalter i dräneringsvatten, växtnäringsförluster från åkermark, erosion av fosfor från åker och kväveutlakningens förändring vid minskad gödsling. De tre sistnämnda artiklarna utgör fullständiga utskrifter av föredrag som hölls 30 nov - 2 dec 1981 på Voksenåsen i Oslo i regi av Vattenvårdskommittén inom Nordiska Jordbruksforskarens förening.

Stiftelsen Oscar och Lili Lamms minne, Statens naturvårdsverk (PMK) och Sveriges lantbruksuniversitet betalade undersökningarna.

1982-05-15

## INNEHÅLL

Ulén, B. 1982. Vadsbrosjöns närsaltsbelastning och trofinivå. <i>Ekohydrologi nr 11</i> , 3-11.	3
Andersson, A. & Gustafson, A. 1982. Metallhalter i dräneringsvatten från odlad mark. <i>Ekohydrologi nr 11</i> , 13-18.	13
Gustafson, A. 1982. Växtnäringsförluster från åkermark i Sverige. <i>Ekohydrologi nr 11</i> , 19-27.	19
Ulén, B. 1982. Erosion av fosfor från åker. <i>Ekohydrologi nr 11</i> , 29-36.	29
Jernlås, R. 1982. Kväveutlakningens förändring vid reducerad gödsling. <i>Ekohydrologi nr 11</i> , 37-39.	37

# VADSBROSJÖNS NÄRSALTSBELASTNING OCH TROFINIVÅ

*The nutrient load and trophic level of Lake Vadsbrosjön*

Barbro Ulén

*Abstract.* The transports of nutrients were measured from four areas around Lake Vadsbrosjön in central Södermanland. Arable land leached nearly forty times as much nitrate, and eight times as much phosphate as woodland. A local field leached much phosphorus, but the losses of major ions were small compared with measurements from other parts of the country.

The nitrate concentration in Lake Vadsbrosjön being zero in the middle of the summer, this is probably the most limiting substance for algae production. The nitrate decreases faster after winters with little snow and small spring flood than after winters with more spring runoff.

## INLEDNING

Ämnestransporten till Vadsbrosjön har beräknats från olika typer av avrinningsområden. I en tidigare rapport (Ulén & Brink 1980) har detta resultat redovisats och sammanfattas sålunda: "Transporten av kväve och fosfor från ett litet skogsområde var högre än vad som beräknats gälla för hela Sverige. Framför allt var fosfortransporten från en åker mycket högre än vad som uppmätts från andra delar av landet. De eutrofa förhållandena i Vadsbrosjön var naturliga med hänsyn till sjöns stora närsaltsbelastning som redan av naturen tycks vara alltför stor."

I föreliggande skrift skall redovisas de hittills gjorda undersökningarna. För mätningarna i själva sjön är det också en slutredovisning.

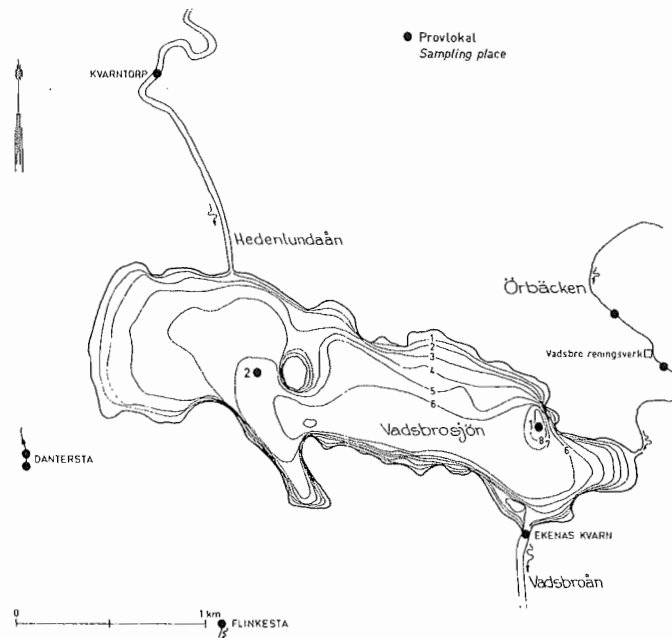


Fig. 1. Provplatser. *Sampling sites.*

Tabell 1. Areal och åkerprocent i undersökningsområden samt mätprogram. *Area and percent of arable land of investigation areas together with measuring program.*

Område <sup>a</sup>	Flinkesta	Däntersta	Örbäcken	Hedenlundaån	Vadsbrosjön
Areal <sup>b</sup> (ha)	6,6	31,0	1120	39880	198
Åker <sup>c</sup> (%)	100	0	44	18	0
Närsalter <sup>d</sup>	76-81	76-81	76-81	76-81	79-81
Större konstituent <sup>e</sup>	80-81	80-81	80-81	80-81	-
Primärproduktion <sup>f</sup>	-	-	-	-	79
Klorofyll a <sup>g</sup>	-	-	-	-	79-81

<sup>a</sup>Investigation area. <sup>b</sup>Area. <sup>c</sup>Arable land. <sup>d</sup>Nutrients. <sup>e</sup>Major ions.  
<sup>f</sup>Primary production. <sup>g</sup>Chlorophyll a.

## METODER OCH MATERIAL

### Undersökningsområden

De avrinningsområden som ingår i undersökningen har beskrivits av Brink, Gustafson & Persson (1979), Brink (1979), Ulén & Brink (1980) samt Antonsson, Bergquist, Broberg & Neabeus (1976). Ur den näst sista skriften har hämtats översiktskarta med provplatser i fig. 1. Delområden och mätprogram framgår av tabell 1.

Använda analysmetoder har beskrivits av Brink, Gustafson & Persson (1978) och Ulén & Brink (1980). Natrium, magnesium och kalcium mättes liksom kalium med atomabsorption. Klorid mättes med järncyanatmetoden och sulfat enligt Thorin-metoden med autoanalyser.

## RESULTAT OCH DISKUSSION

### Avrinning

Det första året hade en kraftig vårflod medan de båda sista åren hade en måttlig sådan (fig. 2). De båda sista åren har avrinningen under hösten utgjort en stor andel av den årliga avrinningen. Variationerna har varit kraftigast vid Flinkesta med ren åker medan skogen verkat dämpande vid Däntersta. De större avrinningsområdena Örbäcken och Hedenlundaån har hela tiden haft ganska utjämnade flöden.

Den totala avrinningen från de fyra områdena var följande (värden i mm):

År	76/77	76/77	77/78	78/79	79/80	80/81
Flinkesta	291	291 <sup>a</sup>	396	208	156	289
Däntersta	-	178 <sup>a</sup>	207	143	116	176
Örbäcken	-	125 <sup>a</sup>	194	158	168	242
Hedenlundaån	-	190 <sup>a</sup>	182	143	147	211

<sup>a</sup>Nov-jun

### Transport av kväve, fosfor och kalium

Avrinning och månatliga transporter av kväve, fosfor och kalium beräknade som medelvärde för varje månad under undersökningsperioden anges i fig. 3. Månadstransporterna från Flinkesta, där provtagning görs minst två gånger

Tabell 2. Transport av kväve, fosfor och kalium. Medelvärden för undersökningsperioden. *Transports of nitrogen, phosphorus, and potassium (kg/ha/yr). Mean values during investigation period.*

Område <i>Area</i>	Kväve		Fosfor		K
	NO <sub>3</sub> -N	Tot-N	PO <sub>4</sub> -P	Tot-P	
Flinkesta	10,7	13,3	0,43	0,79	9,8
Däntersta	0,4	2,6	0,03	0,09	1,9
Örbäcken	5,0	7,5	0,07	0,16	8,9
Hedenlundaån	1,0	2,7	0,05	0,13	5,5

per månad, har beräknats genom successiv vägning mot avrinningen. Månads-transporter från övriga avrinningsområden, där provtagning endast sker i mitten av varje månad, har beräknats genom att multiplicera månadsavrinning med koncentration.

Transporterna har följt samma årliga mönster som avrinningen. Från Flinkesta och Örbäcken har de största närsaltsförlusterna skett i mars. I områden som mer eller mindre fullständigt består av skog (Däntersta och Hedenlundaån) har de största förlusterna skett i april. I Hedenlunda-

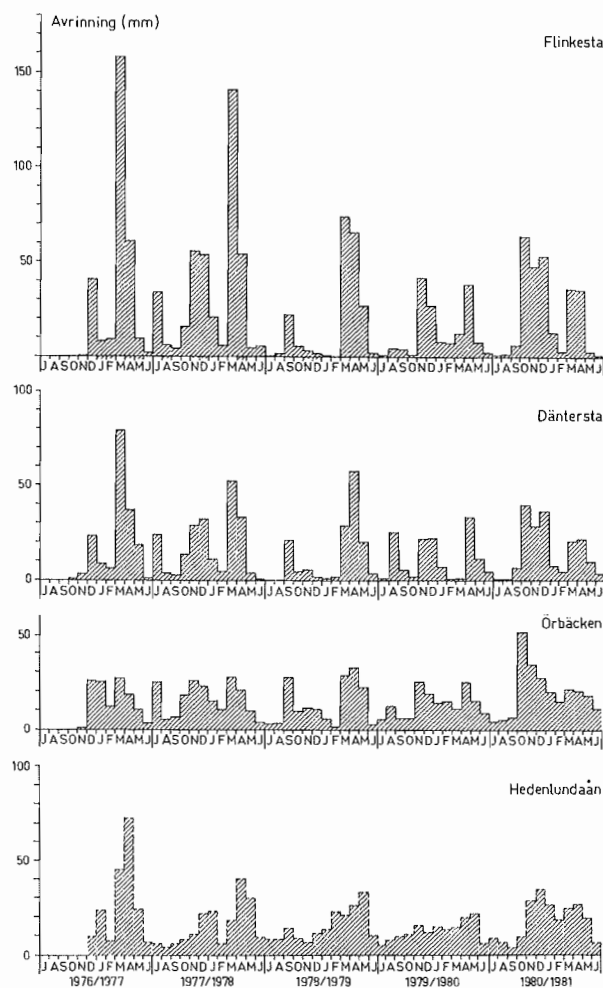


Fig. 2. Avrinning från undersökningsområdena. *Runoff from investigation areas.*

Tabell 3. Transport av kväve, fosfor och permanganatförbrukande substans före och efter Vadsbro reningsverk. *Transports of nitrogen, phosphorus, and permanganate oxidizing substances (kg/ha/yr) in front of and behind the Vadsbro sewage plant.*

År	Kväve				Fosfor		
	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	Org. N	Tot-N	PO <sub>4</sub> -P	Tot-P	KMnO <sub>4</sub>
77/78 Före	0,35	4,5	2,3	7,4	0,07	0,17	120
77/78 Efter	0,37	4,7	2,3	7,4	0,09	0,17	123
78/79 Före	0,39	4,6	1,8	6,8	0,04	0,12	107
78/79 Efter	0,28	4,5	1,5	6,3	0,07	0,29	103
79/80 Före	0,77	3,2	1,3	5,3	0,07	0,13	98
79/80 Efter	0,74	3,2	3,0	6,9	0,11	0,23	103
80/81 Före	0,64	4,2	2,9	7,7	0,08	0,28	160
80/81 Efter	1,14	4,9	2,2	8,2	0,10	0,98	186

åns avrinningsområde kan dessutom sjöarna verka som närsaltsfällor och minska närsaltstransporten.

Mellan hälften och två tredjedelar av den årliga transporten skedde under våren. Från Örbäckens avrinningsområde skedde dock en stor kaliumtransport under hösten. Konduktiviteten visade också att den totala salttransporten var större i Örbäcken än i de övriga avrinningsområdena, speciellt under hösten.

I tabell 2 anges medelvärden för transporter. Dessa har beräknats sedan koncentrationerna vägts mot vattenföringen vid provtagningstillfället. Dänterstas växtnäringstransporter har funnits vara ganska representativa för skogar i Södermanland medan Flinkesta har höga fosfortransporter och något låga nitrattransporter jämfört med andra åkrar i Södermanland (Ulén 1982).

Kvoterna mellan transporter från de regionala åkrarna och transporter från Flinkesta har beräknats under de två år då mätningar gjordes samtidigt. De har sedan multiplicerats med transporter från Flinkesta

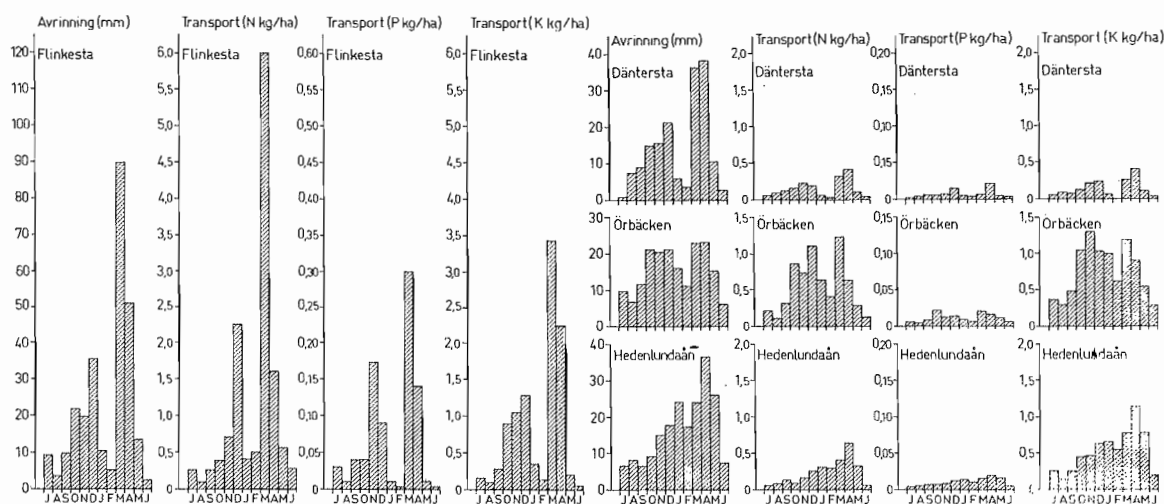


Fig. 3. Avrinning och transport av totalkväve, totalfosfor och kalium från undersökningsområdena. Medelvärde varje månad nov 76-juni 81. *Runoff and transport of total nitrogen, total phosphorus, and potassium from investigation areas. Mean values every month Nov 76-Jun 81.*

Tabell 4. Transport av kväve, fosfor och permanganatförbrukande substans före och efter alkärr vid Däntersta. *Transports of nitrogen, phosphorus, and permanganate oxidizing substances (kg/ha/yr) in front of and behind the swamp at Däntersta.*

År	Kväve				Fosfor		KMnO <sub>4</sub>
	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	Org. N	Tot-N	PO <sub>4</sub> -P	Tot-P	
77/78 Före	0,06	0,6	1,7	2,4	0,03	0,07	190
Efter	0,13	0,3	3,0	3,5	0,04	0,16	248
78/79 Före	0,10	0,4	1,3	1,8	0,01	0,08	128
Efter	0,07	0,9	1,4	2,4	0,02	0,13	184
79/80 Före	0,12	0,2	1,4	1,7	0,01	0,05	132
Efter	0,07	0,1	1,6	1,8	0,02	0,08	164
80/81 Före	0,12	0,4	1,6	2,1	0,07	0,09	103
Efter	0,13	0,5	1,5	2,1	0,06	0,10	219
80/81 Före <sup>a</sup>	0,21	0,2	0,9	1,3	0,03	0,07	159
Efter <sup>a</sup>	0,15	0,4	1,3	1,9	0,05	0,08	186

<sup>a</sup>Efter dikning. *After ditch digging.*

under de aktuella fem åren. De sålunda korrigerade transportvärdena från ren åker har satts in i fig. 4. Transporterna från ren skog har korrigerats på likadant sätt men skiljer sig inte mycket från transporterna från Däntersta.

Sambanden åkerprocent och nitrat- och fosfattransport är ganska rätlinjiga. Detta till skillnad från vad som fanns av Ulén & Brink (1980) där beräkningen endast omfattade en kortare mätperiod och inte tog hänsyn till de lokala förhållandena som tycks råda vid Flinkesta. Sambanden antyder att 36 gånger så mycket nitratkväve och 8 gånger så mycket fosfatfosfor utlakas från åker än från skog. Kurvan för kaliumförluster var logaritmisk. Förmodligen spelar lokala förhållanden i Örbäcken och Hedenlundaån in.

#### Effekten av Vadsbro reningsverk

Vadsbro reningsverk, som betjänar ca 100 personer, belastar Örbäckens nedre lopp. Effekten av detta redovisas i tabell 3 som anger transporten i bäcken före och efter reningsverket.

Vad gäller kväve- och permanganattal är differenserna så små att de ligger inom felgränserna för mätmetoderna. Varje år har det emellertid

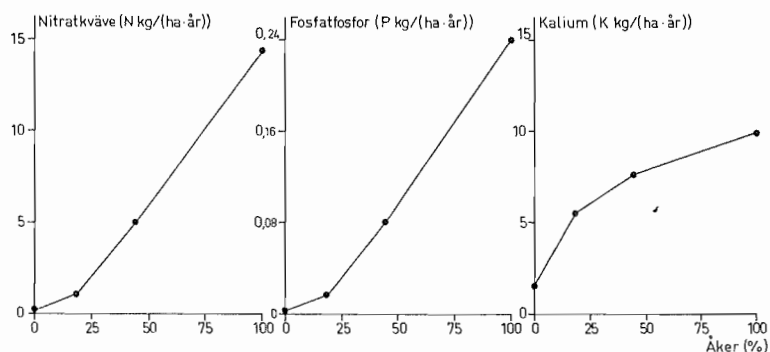


Fig. 4. Transport av nitratkväve, fosfatfosfor och kalium som funktion av åkerprocenten. *Transports of total nitrogen, total phosphorus, and potassium as dependent on percent of arable land.*

Tabell 5. Transporter av större konstituenten 1980/81. *Transports of major ions 1980/81 (kg/ha/yr).*

Område (Area)	Na	K	Ca	Mg	SO <sub>4</sub> -S	Cl
Flinkesta	12	12	44	13	10	19
Däntersta	8	2	10	8	10	10
Örbäcken	23	10	68	25	56	30
Hedenlundaån	16	7	28	11	16	18

varit ett tillskott av fosfatfosfor i ån vilket motsvarar 20-40 kg/år. Detta utgör en viss belastning på ån men motsvarar endast en till två procent av den totala fosfatbelastningen på Vadsbrosjön.

#### Effekten av alkärr vid Däntersta

Under de första undersökningsåren konstaterades ett rätt stort tillskott av kväve vid Däntersta efter passagen genom ett alkärr. Detta antogs bero på kvävefixering. Kvävetillskottet har emellertid minskat för varje år (tabell 4) vilket möjligen kan bero på att överskottskvävet alltmer tagits upp av växterna då bäcken vuxit igen. Efter dikning i september 1981 ökade kvävehalterna ånyo efter passagen genom kärret.

Kärret har varje år givit ett tillskott av humusämnen vilket visat sig i påtagligt förhöjda permanganattal efter kärret.

#### Halter och transporter av större konstituenten

Variationen i halterna hos de större konstituenterna anges i fig. 5. HCO<sub>3</sub>-halten har ej mätts utan har bestämts ur likheten:  $\Sigma$  katjoner =  $\Sigma$  anjoner.

Variationerna under året har varit måttliga. Ca-, Mg- och Cl-halterna ökade dock vid Flinkesta efter plöjning i mitten av november. I samband med den första kraftiga snösmältningen under våren var halterna låga till följd av utspädningen med smältvatten.

Vid Däntersta liksom i Örbäcken uppmättes höga halter i samband med lågvatten under sommar och vinter. Vattenföringen var då så liten att mycket salter hann lösas i vattnet.

Örbäcken hade genomgående de högsta halterna. Dessa var höga redan långt uppe i bäcken där andelen åker är liten, framför allt vad gäller

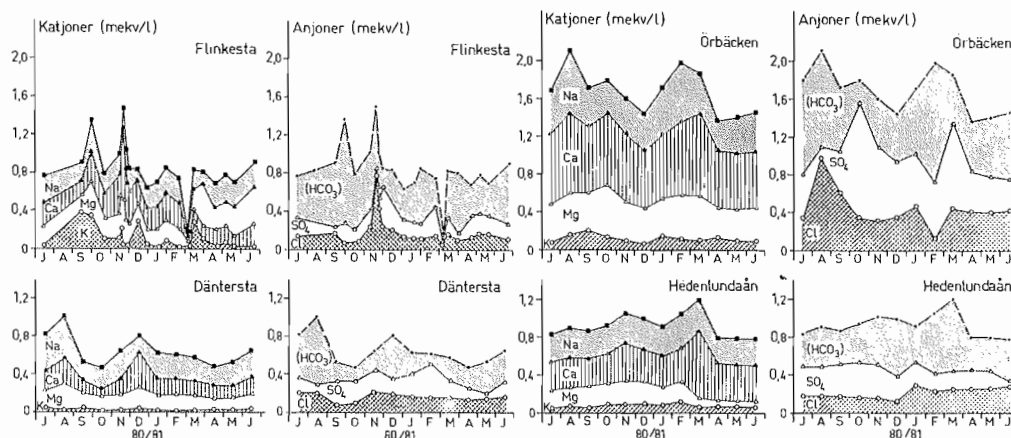


Fig. 5. Halter av större konstituenten i undersökningsområdena. *Concentrations of major ions in investigation areas.*



Tabell 6. Vadsbrosjöns vattenbelastning och belastningen och deponering av totalkväve och totalfosfor. *Water loading on Lake Vadsbrosjön ( $m^3/m^2/yr$ ) and loading and deposition of total nitrogen and total phosphorus ( $g/m^2/yr$ ).*

År	Belastning			Deponering	
	Vatten	Tot-N	Tot-P	Tot-N	Tot-P
77/78	38	59	2,7	5	0
78/79	30	46	2,5	0	0
79/80	31	39	3,3	2	1,2
80/81	44	59	3,5	0	0,2

Ca och  $SO_4$ . Skillnaden mellan Örbäcken och övriga avrinningsområden beror därför antagligen på skilda geologiska förhållanden. Flinkesta och Däntersta hade mycket likartade halter ifråga om Na, Mg,  $SO_4$  och Cl. Däremot var Ca-, K- och  $HCO_3$ -halterna högre vid Flinkesta på grund av användning av kalknings- och gödselmedel.

Transporterna från Flinkesta (tabell 5) var små jämfört med vad som uppmätts från avdelningens övriga försöksfält. I Mellansverige uppmättes transporter av större konstituenten i samma storleksordning som dem från Örbäcken.

#### pH

Förutom Örbäcken är områdena ganska kalkfattiga. pH har emellertid inte varit speciellt lågt (fig. 6). Låga värden uppmättes i Däntersta och Örbäcken senhösten 1976. Detta berodde på de torra förhållandena dessförinnan då små mineraliseringsprodukter anhopades i marken. Dessa sköljdes ut med höstregnen och nådde även Hedenlundaån i samband med vårfloden. För övrigt följer pH-kurvorna det typiska mönstret med lågt pH i samband med kraftig avrinning och högt pH under torrperioderna.

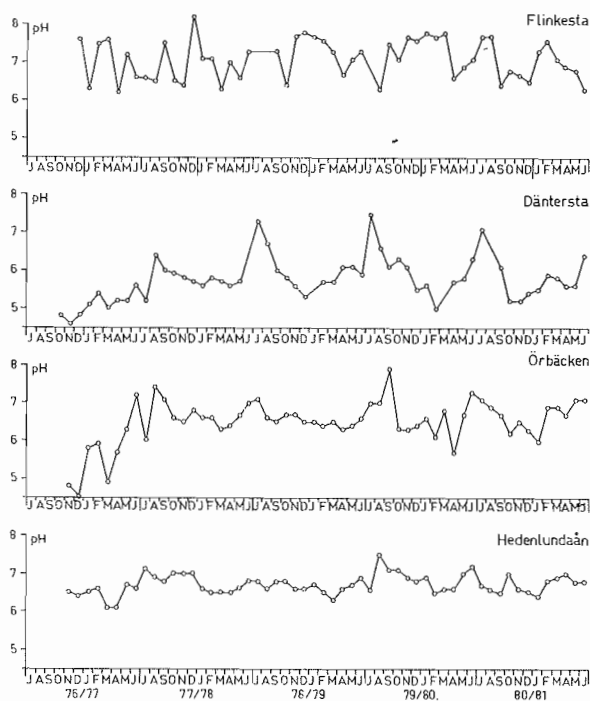


Fig. 6. pH i undersökningsområdena. *pH in investigation areas.*

## Närsalter, siktdjup och klorofyll i Vadsbrosjön

Vatten-, kväve- och fosforbelastningarna på Vadsbrosjön har hela tiden varit kraftiga (tabell 6). Omräknat på hela sjön tillförs den omkring 100 ton kväve och 6 ton fosfor årligen. Den snabba vattenomsättningen har emellertid gjort att endast en ringa del härav kvarhållits i sjön. Endast år 1979/80 då vattenomsättningen under våren var långsammare än övriga år deponerades några större mängder fosfor i sjön (tabell 6).

Totalfosforhalten har efter varje vårflod minskat i sjön till omkring 0,05 mg/l för att öka till uppemot 0,10 mg/l i aug-sep (fig. 7). Under större delen av sommaren har totalkvävehalten varit mer än 10 ggr så stor men det mesta av detta kväve har förelegat i organisk form. Det lättassimilerbara nitratkvävet har försvunnit helt i vattenmassan under försommaren medan det hela tiden funnits fosfatfosfor. Nitratbristen har uppträtt snabbare ju mindre nitratillskottet till sjön varit under våren. Detta tillskott var (g/(m<sup>2</sup>·år) under mar-maj:

År	1979	1980	1981
Tillskott (NO <sub>3</sub> -N)	18	11	6

Den under de tre åren allt snabbare uppkomna nitratbristen tycks emellertid inte ha reducerat planktonbiomassan, mätt som *klorofyll a*, i någon högre grad (fig. 7).

Dåliga ljusförhållanden i sjön har gynnat tillväxten av blågrönalger. Arterna *Anabaena circinalis* och *Oscillatoria agardhii* har omväxlande varit det viktigaste inslaget i planktonfloran fr.o.m. juni månad. Sjön har emellertid hela tiden haft en ganska heterogen algsammansättning och artantalet har varit stort. Många av arterna har varit eutrofa former. I likhet med vad som beskrivits av Ulén & Brink (1980) tyder alla resultat på att sjön är eutrof, på gränsen till mycket eutrof. Detta förklaras av den stora närsaltsbelastningen från omgivningen.

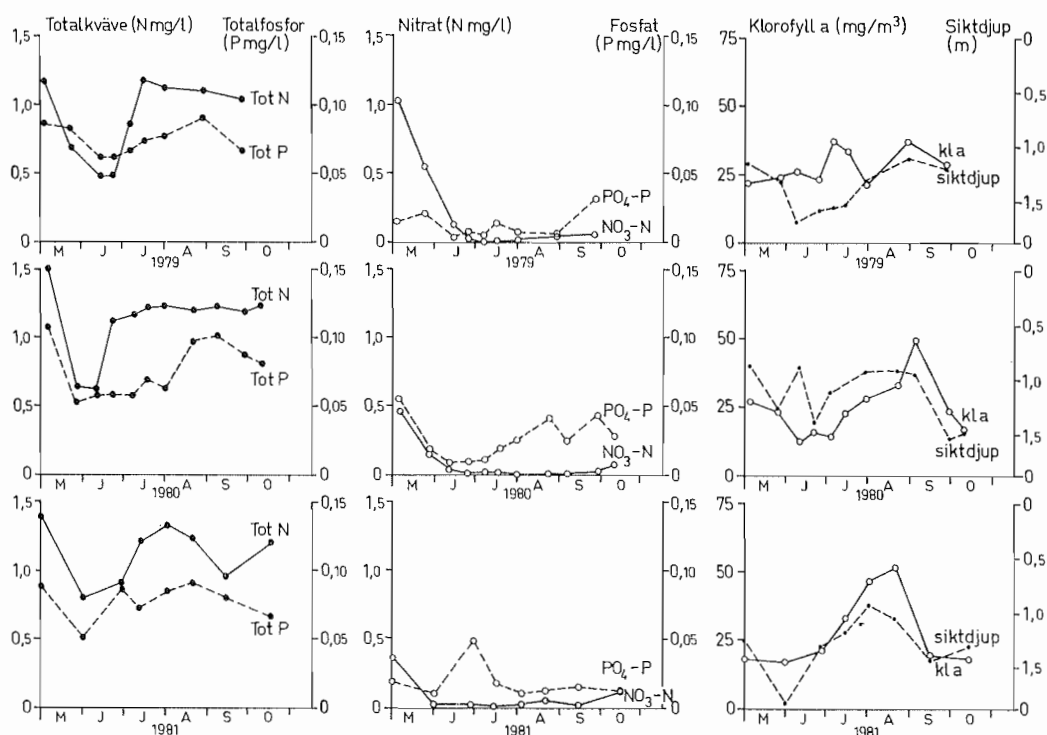


Fig. 7. Kväve, fosfor, klorofyll a och siktdjup i Vadsbrosjön. Nitrogen, phosphorus, chlorophyll a, and secchi disc transparency in Vadsbrosjön.

## SAMMANFATTNING

Ämnestransporter från fyra olika typer av områden kring Vadsbrosjön har beräknats. Uppsatsen behandlar resultat från perioden nov 76-jun 81.

Från ren skog var nitratkväveförlusterna 0,4 och fosfatfosforförlusterna 0,03 (kg/(ha·år)). Ren åker avgav 36 gånger så mycket nitrat och 8 gånger så mycket fosfat.

Ett mindre reningsverk vid Vadsbro samhälle ökade fosformängderna i recipienten. Detta hade dock endast lokal betydelse för denna å.

Den lokala variationen i saltförluster mellan områdena var ganska stor. Salthalternas variation under året var emellertid måttlig.

Vadsbrosjön kännetecknades av en snabb vattenomsättning och en betydande naturlig närsaltsbelastning. Nitratillskottet till sjön under våren minskade under perioden 1979-1981 vilket resulterade i en under sommaren allt tidigare nitratbrist. Detta resulterade emellertid inte i någon märkbar minskning av fytoplanktonbiomassan utan denna var oförändrat hög.

## REFERENSER

- Antonsson, U., Bergqvist, B., Broberg, O. & Nebeus, M. 1976. Limnologiska undersökningar av Vadsbrosjön. *Stencil, Limn. inst., Uppsala*.
- Brink, N. 1979. Växtnäringsförluster från skogsmark. *Ekohydrologi nr 5*, 29-34.
- Brink, N., Gustafson, A. & Persson, G. 1978. Förluster av växtnäring från åker. *Ekohydrologi nr 1*, 1-60.
- Brink, N., Gustafson, A. & Persson, G. 1979. Förluster av kväve, fosfor och kalium från åker. *Ekohydrologi nr 4*, 7-57.
- Ulén, B. 1982. Växtnäringsförluster från åker och skog i Södermanland. *Ekohydrologi nr 10*, 27-37.
- Ulén, B. & Brink, N. 1980. Omgivningens betydelse för primärproduktionen i Vadsbrosjön. *Ekohydrologi nr 7*, 21-34.



# METALLHALTER I DRÄNERINGSVATTEN FRÅN ODLAD MARK

## *Metal contents in drainage water from cultivated soils*

Arne Andersson och Arne Gustafson

*Abstract.* Samples of drainage water from cultivated soils have been analysed for Mn, Zn, Cu, Pb, Ni, Cd, Cr, Fe, Ca, Mg, K, and Na.

From one sampling site samples were taken at different occasions during the runoff period March-May. Systematic variations with time were found in their contents of Cu, Cr, Ca, Mg, Na and probably Pb. The Cu concentration decreased whereas the concentrations of the others increased with time. The concentrations of Mn, Zn, Ni, Cd, and Fe fluctuated randomly.

The concentrations varied strongly between sampling sites, particularly in the case of elements markedly influenced by pH and redox potential. For these elements there were large differences between average and median values. This was due to the fact that a few extremely high values strongly dominated the averages. Therefore, the true situation is better described by the median values.

The correlations between heavy metals were in most cases positive and significant, Pb being exceptional. Negative and significant correlations were found between heavy metals and pH, again Pb being an exception. According to the degree of negative correlation to the pH, the following sequence could be arranged: Mn>Zn>Cd>Cr>Ni>Cu>Mg>Fe>K>Na. The correlations between heavy metals and the Ca concentrations were also negative but nonsignificant.

For one sample (pH 7.0) the distribution of the investigated elements on dissolved and suspended fractions could be determined. In the case of Fe more than 90 % of the total content belonged to the suspended fraction, whereas the corresponding percentages for Pb, Cr, and Cu were 52, 44, and 34 %, respectively. For the other elements 94 % or more belonged to the dissolved fraction. Based on the magnitude of the suspended fraction, the following sequence could be arranged: Fe>Pb>Cr>Cu>Ni>Mn>Cd>Mg>Zn>K>Ca=Na.

## INLEDNING

Metallhalterna i dräneringsvatten är relativt väl kända då det gäller sådana som utgör växtnäringssämnen (Wiklander 1959, Wiklander 1970, Wiklander 1977, Brink, Gustafson & Persson 1978). Betydligt sämre är kännedomen om halterna av tunga metaller, speciellt sådana som inte utgör mikronäringssämnen. För att förbättra kunskapsläget därvidlag företogs våren 1979 en provtagning av avrinnande vatten från tretton av de sexton avrinningsstationer som upprättats i olika delar av landet av avdelningen för vattenvård vid Sveriges lantbruksuniversitet (Brink *et al.* 1978).

## MATERIAL OCH METODER

Avrinningen utgörs av dräneringsvatten från odlad mark. Provtagningen företogs på våren 1979 vid ett tillfälle under avrinningen efter snösmältningen. Den kom därför att ske vid olika tidpunkter i olika delar av landet under perioden 13 mar (Näsbygård) - 13 jun (Öjebyn. Vid en station, Sandbro nära Uppsala, togs prov vid sex tillfällen under avrinningsperioden 6 mar-2 maj. En station (Röbäcksdalen) är så inrättad att prov kan tas både av dräneringsvatten och från ytavrinning.

För provtagning och transport användes 1-liters glasflaskor som ursprungligen använts vid leverans och förvaring av Mercks Suprapur salpetersyra. Konservering i form av syratillsats företogs inte vid provtagningen utan först efter ankomsten till laboratoriet då proven centrifugerats. Transporten skedde i kylväskor, och för flertalet prov kunde centrifugering och syratillsats ske inom 48 timmar efter provtagningen, för proven från Sandbro redan inom 2-3 timmar. Efter syratillsatsen koncentrerades en aliquot av de centrifugerade proven genom indunstning till en fjärdedel av ursprunglig volym. Förfarandena vid provtagning, provpreparering och disk har tidigare redovisats i detalj (Andersson 1981).

Tabell 1. Metallhalter, pH och transportvärden i dräneringsvatten från Sandbro vid olika provtagningar under avrinningsskedet våren 1979. *Metal concentrations, pH, and transport values in drainage water from Sandbro at different sampling occasions during the spring runoff 1979.*

Tid	Mn	Zn	Cu	Pb	Ni	Cd	Cr	Fe	Ca	Mg	K	Na	pH
	<i>Halt (µg/l)</i>						<i>Halt (mg/l)</i>						
6 mar	0,72	0,38	2,2	0,08	1,5	0,008	0,27	25	62	5,0	1,3	3,6	7,35
8 mar	0,33	0,21	1,3	<0,08	1,5	0,015	0,32	10	80	7,4	1,2	4,7	7,45
12 mar	0,48	0,24	1,3	<0,08	1,7	0,011	0,37	10	83	8,0	1,3	4,8	7,75
28 mar	0,65	0,31	1,2	0,10	0,8	0,009	0,40	20	100	10,0	1,2	5,9	7,05
10 apr	0,08	0,11	0,84	0,17	0,9	0,008	0,38	5,0	104	10,5	1,3	6,2	7,05
2 maj	0,13	0,15	0,81	0,20	2,0	0,007	0,49	13	107	10,7	1,3	6,5	7,10
Max/min	9	3,5	2,7	>2,5	2,5	2,1	1,8	5	1,7	2,1	1,1	1,8	
	<i>Transport (g/ha)</i>						<i>Transport (kg/ha)</i>						
Mar-maj	0,07	0,04	0,23	0,02	0,22	0,002	0,07	2,6	16	1,6	0,2	9,6	

I ett prov var koncentrationen av suspenderat material tillräckligt hög för att medge en någorlunda säker bestämning av de analyserade elementens fördelning på suspenderad respektive löst form. Efter centrifugeringen uttogs två tredjedelar av vätskevolymen för indunstning. Den återstående tredjedelen tillsammans med sedimentet från hela ursprungsvolymen gjordes tioprocentig på HNO<sub>3</sub> och extraherades vid 100°C under två timmar. Efter centrifugering analyserades extraktet, varefter den fraktion som lösts ut från sedimentet kunde beräknas efter erforderlig korrektion för halt i vattnet och koncentreringsringen av det suspenderade materialet. Den utlösta fraktionen utgör inte totalhalten, eftersom extraktionen inte leder till total upplösning av det suspenderade materialet. Utbytet torde dock för flertalet element approximativt kunna betraktas som totalinnehållet.

Analyserna utfördes med atomabsorption på instrument av märket Perkin-Elmer 603, utrustat med grafitugn modell HGA 76B. Var koncentrationerna tillräckligt höga utfördes analysen med hjälp av låga på instrument av märket Perkin-Elmer 503. Båda instrumenten tillåter korrektion för bakgrundsabsorption, vilket utnyttjades vid tungmetallanalyserna. Ursprungligt eller koncentrerat prov användes beroende på vilken koncentration som gav de bästa mätbetingelserna. Samtliga Ca-, Mg-, Na-, K- och Fe-analyser utfördes med hjälp av låga på prov som var 0,1 % på Li<sup>+</sup> respektive La<sup>3+</sup>. Halterna av Cd, Pb, Cr, Ni och Cu bestämdes enbart med hjälp av grafitugn, Pb och Cd först efter La-tillsats till proven enligt Andersson (1976).

För Sandbro har ämnestransporten beräknats för undersökningsperioden. Beräkningen har gjorts så att ett haltvärde har interpolerats fram för varje dygn varefter detta värde har multiplicerats med respektive dygnsavrinning för erhållande av dygnstransporten. Dygnstransporterna har sedan adderats för att erhålla periodtransporten.

## RESULTAT OCH DISKUSSION

### *Sandbro*

Från avrinningsstationen Sandbro uttogs prov vid sex olika tillfällen under och efter snösmältningen. Avrinningen kännetecknades av tre markerade avrinningsperioder med mellanliggande perioder med litet eller inget flöde. Högsta vattenföringen förekom under den inledande flödestoppen. I samband med denna togs det första provet. Vid de övriga provtillfällena var flödet mer ordinärt och inbördes av samma storleksordning (fig. 1).

Totalt uppgick avrinningen under undersökningsperioden till endast 17 mm.

Tabell 2. Metallhalter och pH i dräneringsvatten från olika avrinningsstationer. *Metal concentrations and pH in drainage water from different sampling sites.*

Station	Halt ( $\mu\text{g/l}$ )							Halt ( $\text{mg/l}$ )					pH
	Mn	Zn	Cu	Pb	Ni	Cd	Cr	Fe	Ca	Mg	K	Na	
Näsbygård	10	0,67	3,0	0,24	2,9	0,027	0,42	48	85	3,0	1,0	11,2	7,15
Skottorp	18	1,3	1,4	0,20	2,1	0,025	0,21	78	48	3,2	4,3	10,4	6,45
Vättinge	240	0,67	2,2	0,09	3,9	0,013	0,33	100	81	14,0	8,4	13,0	7,25
Karstorp	5,7	1,1	1,5	0,27	0,75	0,014	0,26	108	38	6,7	4,7	5,4	7,15
Hälleberg	4,9	0,48	1,5	0,67	0,75	0,013	0,39	490	8,6	3,6	1,7	4,0	6,95
Stjärntorp	2,1	0,30	1,8	0,81	0,75	0,013	0,14	60	48	17,7	1,9	5,8	7,60
Hassla	0,75	0,18	0,54	0,26	0,75	0,008	0,34	15	104	11,3	1,3	13,1	7,05
Lökene	5,6	16	0,99	<0,10	1,4	0,074	0,12	10	36	3,8	4,6	6,1	7,05
Boda	15	1,8	1,7	0,31	0,57	0,010	0,24	153	3,0	0,9	3,5	1,1	7,05
Vagle	1,8	0,27	0,93	0,11	2,9	0,009	0,48	5,0	109	7,4	5,1	7,1	7,05
Öjebyn	4000	200	21	0,14	57	0,51	2,2	405	40	23,0	5,0	8,9	4,30
Röbäcksdalen Y	320	108	18	1,7	19	0,115	2,0	1690	29	3,2	11,5	10,6	6,95
Röbäcksdalen D	549	87	21	0,43	67	0,405	0,49	35	30	8,6	8,6	15,0	7,00
Medeltal $\bar{x}$	398	32	5,8	0,41	12,3	0,095	0,59	246	51	8,2	4,7	8,6	
Standardavvikelse S.D.	$\pm 1096$	$\pm 62$	$\pm 8,1$	$\pm 0,45$	$\pm 22,7$	$\pm 0,165$	$\pm 0,68$	$\pm 459$	$\pm 34$	$\pm 6,6$	$\pm 3,2$	$\pm 4,1$	
S.D./ $\bar{x}$	2,75	1,94	1,40	1,10	1,85	1,74	1,15	1,87	0,67	0,80	0,68	0,48	
Median	7,1	1,3	1,6	0,25	1,8	0,014	0,34	71	39	5,0	4,5	7,9	

Y, ytvatten, *surface water*. D, dräneringsvatten, *drainage water*.

Medeltalet för en sjuårsperiod är 32 mm. Det är jämfört med stationerna i övriga landet små avrinningsvärden.

Provtagningarna företogs med syftet att fastställa i vad mån koncentrationen varierar med vattenföringen. Som framgår av tabell 1 förekommer för vissa element regelbundet fallande (Cu) eller stigande (Cr, Ca, Mg, Na och sannolikt Pb) koncentrationer under avrinningskedet. Andra element (Mn, Zn, Ni, Cd och Fe) varierar mera slumpmässigt, medan K-halterna ligger på samma nivå vid samtliga provtagningar. För de systematiskt varierande elementen uppgår minskningen respektive ökningen i koncentration under provtagningsperioden till ungefär en faktor två, medan den slump-

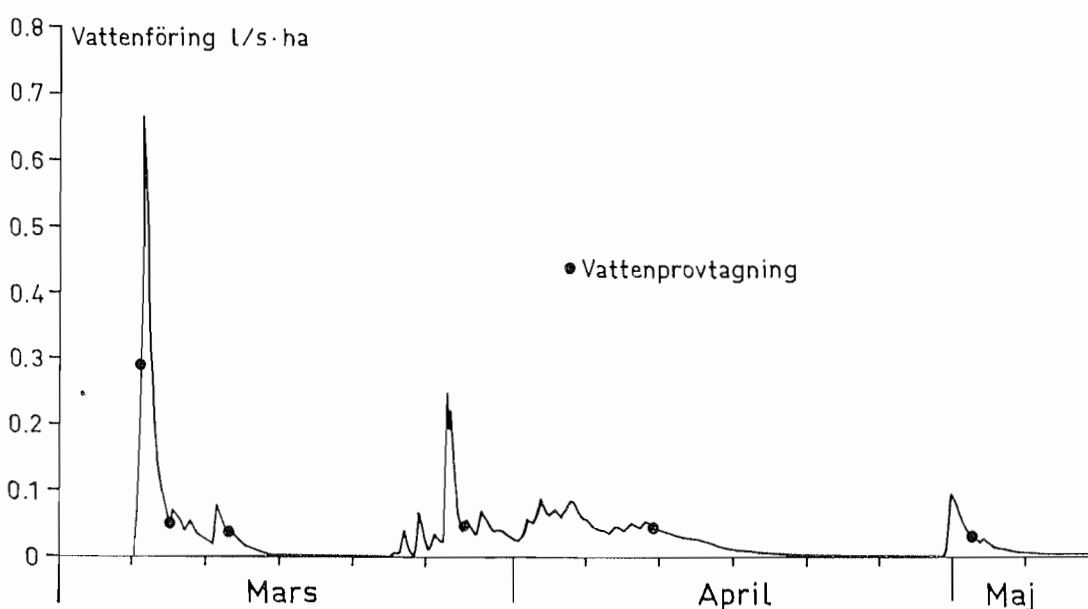


Fig. 1. Vattenföringen vid Sandbro under vårfloden 1979. *Runoff at Sandbro during the spring 1979.*

Tabell 3. Korrelationer mellan olika element och mellan element och pH. *Correlations between elements and between elements and pH.*

	Mn	Zn	Cu	Ni	Cr	Cd	Pb	Fe	Ca	Mg	K	Na	pH
Mn	-												
Zn	0,879***	-											
Cu	0,671*	0,920***	-										
Ni	0,698**	0,841***	0,923***	-									
Cr	0,754**	0,901***	0,792**	0,581*	-								
Cd	0,834***	0,905***	0,893***	0,968***	0,646*	-							
Pb	-0,122	0,246	0,383	0,063	0,452	-0,017	-						
Fe	0,156	0,483	0,509	0,156	0,732**	0,139	0,866***	-					
Ca	-0,123	-0,262	-0,298	-0,226	-0,147	-0,246	-0,363	-0,353	-				
Mg	0,678*	0,481	0,329	0,425	0,352	0,505	-0,153	-0,148	0,249	-			
K	0,148	0,474	0,621*	0,464	0,489	0,366	0,410	0,571*	-0,164	0,001	-		
Na	0,118	0,259	0,418	0,449	0,194	0,344	0,007	0,026	0,500	0,248	0,387	-	
pH	-0,942***	-0,803***	-0,564*	-0,590*	-0,709**	-0,743**	0,191	-0,149	0,138	-0,486	-0,073	-0,069	-

\* Signifikant på 5 % nivån. \*\* Signifikant på 1 % nivån. \*\*\* Signifikant på 0,1 % nivån. Den starkaste korrelationskoefficienten för varje elementpar är kursiverad.

mässiga variationen uppgår till en faktor 2-9, beroende på ämnet. Oavsett om koncentrationerna varierar regelbundet eller slumpmässigt införs däri- genom ett fel i den beräknade bortförslen av dessa element, om beräkning- arna baseras på endast en provtagning.

Genom att avrinningen var så liten blev de transporterade mängderna små. De ger dock en god uppfattning om transporterernas storleksordning.

### Övriga stationer

I tabell 2 redovisas halterna av analyserade element. Medeltal, standard- avvikelse och medianvärden har beräknats. Variationen i halter är stor, vilket framgår av att standardavvikelsen för samtliga tungmetaller, inklu- sive Fe, är större än medelvärdena. Baserad på standardavvikelsens storlek i förhållande till medeltalet kan följande ordningsföljd uppställas:

$Mn > Zn \geq Fe \geq Ni \geq Cd > Cu \geq Cr \geq Pb > Mg > K \geq Ca > Na$ . Variationen återspeglar de olika ele- mentens känslighet för variationer i markens fysikalisk-kemiska miljö (pH, redoxpotential).

För flertalet tungmetaller är medianvärdet avsevärt lägre än medelvärdet. Så är t.ex. medeltalet för Mn och Zn mer än tio gånger högre än medianvär- det. Det är uppenbart att under dessa betingelser där ett fåtal prov med extremt höga halter kan dominera medeltalet blir felen stora om en beräk- ning av bortförda kvantiteter baseras på medelvärdet. Medianvärdet bör i stället användas, eftersom detta ger en sannare bild av situationen.

I tabell 3 redovisas korrelationen mellan olika element samt mellan dessa och pH. Korrelationskoefficienterna är positiva för flertalet ele- ment. För Ca är dock korrelationen med samtliga tungmetaller negativ, men korrelationskoefficienterna är inte signifikanta. Likaså föreligger nega- tiv korrelation mellan tungmetallhalter och pH (undantag Pb), vilket åter- speglar den ökande lösligheten vid sjunkande pH. Den negativa korrelatio- nen med Ca kan förklaras med att under neutrala betingelser föreligger tungmetallerna huvudsakligen bundna i marken, bl.a. till kolloidalt mate- rial, vars rörlighet minskar med ökande salthalt (Ca-halt). Det föreligger också ett positivt samband mellan pH och markkolloidernas Ca-mättnads- grad respektive dräneringsvattnets Ca-halt.

Speciellt höga korrelationskoefficienter mellan element erhålls för Zn/Mn, Cu/Zn, Ni/Cu, Ni/Zn, Cr/Zn, Cd/Ni, Cd/Zn, Cd/Cu, Cd/Mn och Pb/Fe. För element som är negativt korrelerade med pH kan följande ordnings- följd, baserad på korrelationens styrka, uppställas:  $Mn > Zn > Cd > Cr > Ni > Cu > Mg > Fe > K \geq Na$ . Pb och Ca är positivt korrelerade med pH, dock är korrela- tionskoefficienterna ej signifikanta.

I flertalet fall innehöll proven obetydliga mängder suspenderat mate- rial. Målsättningen med undersökningen var att fastställa koncentration- erna i dräneringsvattnet av den fraktion som transporteras i löst form.



Tabell 4. Fördelning av metaller på jämviktslösning respektive suspenderat material i dräneringsvatten från Röbbäcksdalen. *Distribution of metals on equilibrium solution and suspended material in drainage water from Röbbäcksdalen.*

Station	Halt ( $\mu\text{g/l}$ )							Halt ( $\text{mg/l}$ )				
	Mn	Zn	Cu	Pb	Ni	Cd	Cr	Fe	Ca	Mg	K	Na
Röbbäcksdalen D löst	549	87,0	21	0,43	67,0	0,405	0,49	35	30,0	8,6	8,6	15,0
Röbbäcksdalen D totalt	566	88,2	32	0,90	71,5	0,413	0,88	373	30,0	8,73	8,67	15,0
Röbbäcksdalen D susp.	17	1,2	11	0,47	4,5	0,008	0,39	338	0,0	0,13	0,07	0,0
Susp. i % av total	3,0	1,4	34,4	52,2	6,3	1,9	44,3	90,6	0,0	1,5	0,8	0,0

Skälet härtill är att det främst är den lösta fraktionen som påverkar koncentrationerna i profilen genom att ett urlakat material kvarlämnas där. Förekomsten av suspenderat material innebär i första hand endast en förflyttning av jordmaterial, vilket inte nödvändigtvis behöver påverka koncentrationerna av element i profilen. Så kan dock ske om metallhalterna i suspenderat jordmaterial betydligt avviker från halterna i profilen.

Dräneringsvattnet från Röbbäcksdalen innehöll tillräckligt med suspenderat material för att en relativt säker bestämning av fördelningen på löst respektive suspenderad fraktion skulle kunna utföras. Resultaten redovisas i tabell 4. Den helt dominerande delen (91 %) av Fe förelåg i suspenderad form, och av Pb, Cr och Cu förelåg 52, 44 respektive 34 % i suspenderad form. För övriga element dominerar den lösta fraktionen helt.

Baserad på den suspenderade fraktionens storlek kan följande ordningsföljd uppställas:  $\text{Fe} > \text{Pb} > \text{Cr} > \text{Cu} > \text{Ni} > \text{Mn} > \text{Cd} > \text{Mg} \geq \text{Zn} > \text{K} > \text{Ca} = \text{Na}$ . Andelen som transporteras i suspenderad form ökar med halten suspenderat material. Vid lika halt suspenderat jordmaterial minskar den suspenderade fraktionen av analyserade tungmetaller med pH-värdet, som i detta fall var 7,0.

Mängden suspenderat material var relativt liten och kunde inte bestämmas på grund av brist på prov. Om man emellertid antar att huvudparten utgjordes av ler med normal halt av Fe (Lotse 1964), kan koncentrationen med utgångspunkt från Fe-analysen uppskattas till ca 6,5 mg ler per liter.

Suspenderat material utgör ett problem vid provtagningen eftersom syratillsats till provet för konservering måste undvikas. En surgöring medför att en del av de grundämnena som föreligger bundna till det suspenderade materialet frigörs. Vid den efterföljande analysen kommer dessa sedan att felaktigt föras till den lösta fraktionen.

Tillsätts ingen syra kan i stället ske adsorption av den lösta fraktionen till provtagningskärlens väggar under transport och förvaring (Struempfer 1973). I föreliggande undersökning har försök att motverka denna felkälla gjorts dels genom att provtagningskärlen strax före provtagningen sköljts med samma vatten som skulle provtas. Detta för att försöka uppnå en adsorptionsjämvikt mellan kärl och prov före själva provtagningen. Dels har proven så snabbt som möjligt transporterats till laboratoriet för centrifugering och syratillsats. Tabell 4 antyder att en surgöring vid provtagningen skulle vara en allvarlig felkälla då det gäller Fe, Pb, Cr och Cu. Felets storlek blir emellertid beroende av mängd och typ av suspenderat material samt provets ursprungliga pH.

#### SAMMANFATTNING

Dräneringsvatten från tretton avrinningsstationer, spridda över landet, har analyserats på Mn, Zn, Cu, Pb, Ni, Cd, Cr, Fe, Ca, Mg, K och Na. Dessutom har pH bestämts. Proven togs under våravrinningen efter snösmältningen.

Vid en avrinningsstation togs prov vid sex tillfällen under avrinningsförloppet. Här minskade Cu-koncentrationen med tiden, medan koncentrationen

av Cr, Ca, Mg, Na och sannolikt också Pb ökade. Halterna av Mn, Zn, Ni, Cd och Fe varierade slumpmässigt, medan K-koncentrationen låg på samma nivå hela tiden. De transporterade mängderna var små.

I prov från övriga provtagningsplatser varierade speciellt koncentrationerna av tungmetaller kraftigt från plats till plats. Med avseende på variationens storlek kan följande ordningsföljd uppställas:  $Mn > Zn \geq Fe \geq Ni \geq Cd > Cu \geq Cr \geq Pb > Mg > K \geq Ca > Na$ . För flera tungmetaller domineras medelvärdet helt av enstaka extremvärden. Detta gör att medelvärdena blir avsevärt högre än motsvarande medianvärden. De senare bör användas eftersom de ger en sannare bild av verkligheten.

Med ett par undantag är korrelationen positiv mellan analyserade ämnen utom Ca. Bortsett från två fall är Ca-koncentrationen negativt korrelerad till övriga analyserade ämnen. Med två undantag (Pb och Ca) är koncentrationerna av analyserade ämnen negativt korrelerade till pH. Korrelationskoefficienterna mellan spårelement och mellan dessa och pH är oftast signifikanta. Pb utgör ett undantag. För element som är negativt korrelerade med pH kan följande ordningsföljd, baserad på korrelationens styrka, uppställas:  $Mn > Zn > Cd > Cr > Ni > Cu > Mg > Fe > K \geq Na$ .

För ett prov kunde analyserade element delas upp på en löst respektive suspenderad fraktion. Mer än 90 % av provets innehåll av Fe liksom 34, 44 och 52 % av respektive Cu, Cr och Pb förelåg i suspenderad form. För övriga analyserade ämnen utgjorde den lösta fraktionen 94 % eller mer av totalinnehållet. Med avseende på förekomsten i suspenderad form kan följande ordningsföljd uppställas:  $Fe > Pb > Cr > Cu > Ni > Mn > Cd > Mg \geq Zn > K > Ca = Na$ .

#### REFERENSER

- Andersson, A. 1976. Interferences from Sulfur in the determination of Lead with the graphite furnace. *Atomic Absorption Newsletter*, 15, 71-72.
- Andersson, A. 1981. Cadmium and lead in precipitation and drainage water. Deposition and leaching in the Uppsala area. *Swedish J. agric. Res.*, 11, 119-125.
- Brink, N., Gustafson, A. & Persson, G. 1978. Förluster av växtnäring från åker. *Ekohydrologi nr 1*, 1-60.
- Lotse, E. 1964. *Morfologiska, kemiska och mineralogiska undersökningar av odlade jordmåner i Sverige*. Lantbrukshögskolan, Uppsala, p. 246.
- Struempfer, A.W. 1973. Adsorption characteristics of Silver, Lead, Cadmium, Zinc and Nickel on borosilicate glass, polyethylene, and polypropylene container surfaces. *Anal. Chem.*, 45, 2251-2254.
- Wiklander, L. 1959. Dräneringsvattnets innehåll av näringsämnen. *Grundförbättring*, 12, 193-210.
- Wiklander, L. 1970. Utlakning av näringsämnen. 1. Halten i dräneringsvattnet. *Grundförbättring*, 23, 117-141.
- Wiklander, L. 1977. Leaching of Plant Nutrients in Soils. IV. Contents in Drainage Water and Ground Water. *Acta Agric. Scand.*, 27, 175-189.

# VÄXTNÄRINGSFÖRLUSTER FRÅN ÅKERMARK I SVERIGE

Arne Gustafson

## INLEDNING

På avdelningen för vattenvård vid Sveriges Lantbruksuniversitet pågår sedan 1972 undersökningar om växtnäringssläckage från åker till yt- och grundvatten. Arbetena sker efter två linjer, dels registrering av utlakningen i ordinärt jordbruk, dels åtgärder mot läckaget. Denna redogörelse handlar om resultaten från utlakningsstudierna i ordinärt jordbruk. Mätningarna sker på avrinnande vatten från hela skiften. Försöksfältens storlek varierar mellan 4,5 och 36 ha. Fälten liksom tillämpade metoder har närmare beskrivits av Brink, Gustafson & Persson ( 1978 ).

## RESULTAT

### *Indelning och parametrar*

Materialet har indelats dels efter försöksfältens geografiska belägenhet, dels efter jordart och dels för enskild redovisning. Den geografiska indelningen omfattar tre områden, nämligen norra, mellan- och södra området (fig. 1).

De olika indelningarna är gjorda med syfte att belysa klimatets, jordartens, grödans och intensiv sommarnederbörds inverkan på utlakningen.

### *Klimatets inverkan på utlakningen*

*Jämförelse.* Här jämförs de tre huvudområdena för att få så stor klimatisk skillnad som möjligt (fig. 2).

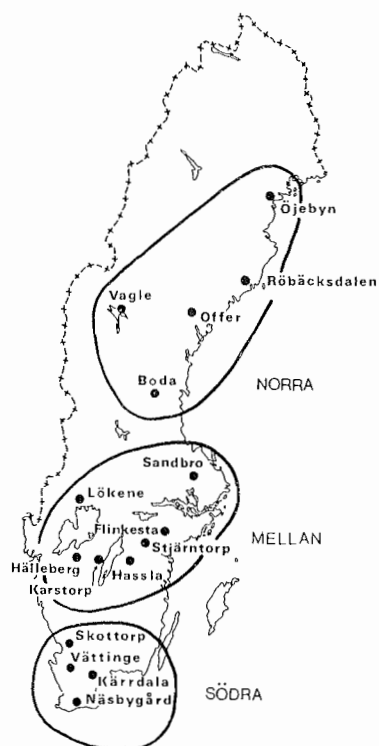


Fig. 1. Skiftesförsökens geografiska belägenhet och områdestillhörighet.

*Nederbörd och avrinning.* Årsnederbörden var minst i norr och störst i söder. Månaderna januari, februari, april och maj hade i medeltal mindre nederbörd än årets övriga månader.

Den totala avrinningen var i medeltal 100 mm större i söder jämfört med de båda övriga områdena. Förklaringen ligger främst i nederbörds-skillnaderna.

Sommaravrinningen var normalt låg eller ingen alls. Vid vissa fält, ungefär ett i varje område, förekom inströmning av upptryckande grundvatten i dräneringssystemen. Detta är förklaringen till varför någon månad ej är helt torr i medelvärdesberäkningen.

Vinteravrinningen uppvisade en klart klimatbetingad variation. I norr förekom en utpräglad tvåtoppighet med höst- och vårfloed med mellanliggande frusna förhållanden. Den frusna perioden varade i medeltal fyra månader (december-mars). I söder med normalt milda vintrar var avrinningen betydande även under högvintern. En dämpning i avrinningen var dock vanlig under de kallare månaderna januari och februari. Mellanområdet slutligen intog naturligt nog en mellanställning.

*Kväve.* Transporten av kväve var en återspeglning av avrinningsbilden. Skillnaden i den totala transporten av kväve mellan de olika områdena var större än skillnaden i avrinning. Detta kan till en del förklaras av det sätt, varpå avrinningen sker. I norr sker den största avrinningen på våren (80 %) och då till största delen som ytvatten. Detta betyder att jordprofilen ej tvättas ur på tillgängligt nitrat. Att kvävetransporten ändå var uttalad på våren berodde främst på bruket av stallgödsel på tjälad mark. Gödseln följde med i det ytligt avrinnande vattnet.

I söder var avrinningen mera lika fördelad över hela vinterhalvåret och då marken normalt endast är frusen kortare tider kan profilen lakas

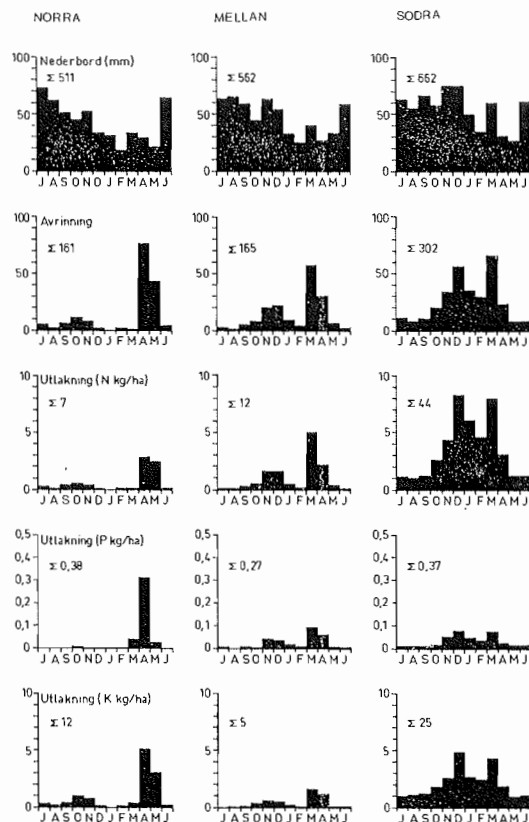


Fig. 2. Nederbörd, avrinning och utlakning av kväve, fosfor samt kalium i tre områden.

ur mera effektivt. Dessutom gynnas höst- och vintermineraliseringen av det mildare klimatet. Intensiteten i växtodlingen ökar också söderut och därmed mängden lättmineraliserbara skörderester. Andelen öppen odling ökar också. Alla dessa faktorer sammantagna förklarar varför utlakningen blev så mycket större i söder än norr.

*Fosfor.* Den totala fosfortransporten var tämligen lika mellan områdena men betydande skillnader förelåg mellan olika fält. Betydelsefull i sammanhanget är erosionen. Det gäller då främst utlakningen av övrig fosfor. Erosionen är främst en yttransport och som sådan mest knuten till vårfloden. Därmed synes den kraftiga vårtransporten i norr vara förklarad. Denna transport har dock förstärkts på grund av bruket av stallgödsel på tjälad mark. Fosfor från gödseln har direkt transportrats ut under vårfloden.

*Kalium.* I likhet med vad som var fallet för kväve och fosfor påverkades kaliumutlakningen på våren i norr av bruket av stallgödsel vintertid.

### Jordartens inverkan på utlakningen

*Jämförelse.* Här jämförs fälten i södra området enär sandjordar endast är representerade där. Jämförelsen omfattar därför två sandjordar (Skottorp och Kärrdala), en moränlera (Näsbygård) och en styvare lera (Vättinge). Undersökta parametrar redovisas i fig. 3.

*Nederbörd och avrinning.* Det längst i väster liggande fältet (Skottorp) hade största årsnederbörden och det längst i öster liggande (Kärrdala) minsta årsnederbörden. Medelskillnaden var så stor som 300 mm mellan dessa båda. Inomårsvariationerna var likartade.

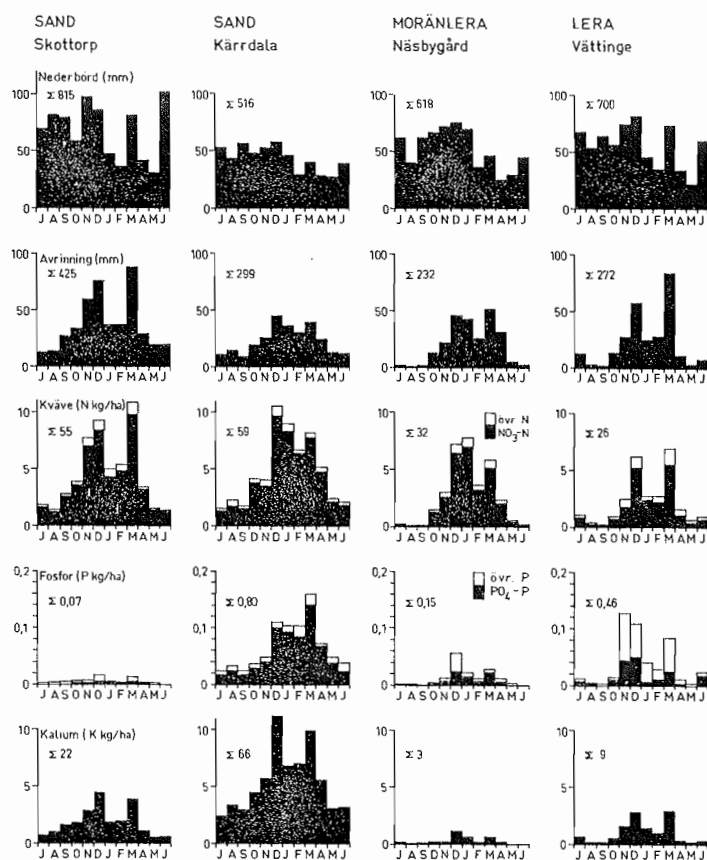


Fig. 3. Nederbörd, avrinning och utlakning av kväve, fosfor samt kalium vid fyra skiftesförsök med tre olika jordarter.

Tabell 1. Gröda, gödsel och skörd vid Flinkesta.

År	Gröda	Handelsg. (kg/ha)			Stallg. (t/ha)		Skörd (t/ha)
		N	P	K	Fast	Flyt	
<i>Flinkesta</i>							
1973	höstvet	62	0	0	20	0	4,3
1974	vårraps	104	24+24	30	0	0	2,4
1975	höstvet	78	28	0	0	0	3,8
1976	korn	78	18	0	0	0	3,1
1977	havre, insådd	65	15	0	0	0	3,1
1978	vall I	64+42	28	52	0	0	normal
1979	vall II	104+42	24	0	0	0	normal
1980	vall III	91+28	21	0	0	0	normal

Nederbördsskillnaderna gav naturligt nog upphov till skillnader i avrinningen. Skottorp hade därför den största avrinningen med 425 mm, men Kärrdala hade inte den minsta utan det var istället Näsbygård med 232 mm. Att Kärrdala inte hade lägst avrinning beror på att det på platsen råder ett grundvattenuppträck. Grundvatten tillföres därför kontinuerligt dräneringssystemet. Halterna av kväve, fosfor och kalium i grundvattnet är emellertid låga, varför transporten med dräneringsvattnet inte påverkas mycket av det uppströmmande vattnet. I likhet med vad som tidigare konstaterats uppträdde ganska intensiv avrinning vintertid med en viss dämpning under januari och februari.

*Kväve.* Transporten av kväve, främst nitrat, var överlag stor, särskilt på sandjordarna. Minst var den på den styva leran. En förklaring till att sandjordar är dåliga kvävehushållare är att rottdjupet på dessa jordar sällan överstiger 40-60 cm. Kväve som hamnar under detta djup är förlorat för grödan och kan lakas ut. På en lerjord med god aggregering däremot är rottdjup på en meter och mer inte ovanligt. Grödan har här mycket större möjligheter att "hinna" plocka upp kväve. Dessutom kan kvävet i en väl aggregerad jord vara delvis skyddat mot utlakning genom att det befinner sig inne i aggregaten, medan den huvudsakliga sjunkvattenströmmen går i sprickor och kanaler. Detta förhållande råder ej i en sandjord där sjunkvattnet istället genomströmmar alla porer och effektivt tvättar ur jorden.

Intressant är att den större avrinningen vid Skottorp inte gav upphov till större utlakning än vid Kärrdala. Redan vid relativt måttliga avrinningsmängder erhålls tydligen en effektiv lakning av en sandjord. Vid stora avrinningsmängder är därför tillgången på mobiliserbart nitrat avgörande för utlakningens storlek. Vid Kärrdala frigjordes stora mängder nitrat genom mineralisering främst till följd av en riklig stallgödselanvändning. Att utlakningen därför blev störst här är inte förvånande.

*Fosfor.* Fosfortransporten varierade starkt. Kärrdala hade de största förlusterna och här dominerade fosfatfosfor. På andra plats kom Vettinge men här dominerade den övriga fosfor. Vid Näsbygård och särskilt vid Skottorp var förlusterna små.

Den stora fosfortransporten vid Kärrdala beror sannolikt till största delen på den intensiva användningen av stallgödsel och fosforgödselmedel därstädes, främst i samband med odling av potatis och sockerbetor. De fosformängder som ej tagits upp av grödan var uppenbarligen så stora och rörde sig så snabbt att de ej hann fastläggas i marken.

De små förlusterna vid Skottorp förklaras av att mindre fosfor tillfördes genom gödslingen därstädes och att fastläggningen av fosfor var relativt effektiv.

Tabell 2. Gröda, gödsel och skörd vid Näsbygård.

År	Gröda	Handelsg. (kg/ha)			Stallg. (t/ha)		Skörd (t/ha)
		N	P	K	Fast	Flyt	
1973	vårvete	110	0	0	0	0	4,1
1974	korn	79	0	0	0	0	5,1
1975	sockerbetor	42+93	64	64	0	0	38,5
1976	vårvete	112	0	0	0	0	4,2
1977	korn	78	0	0	0	0	4,2
1978	sockerbetor	140	56	104	0	0	46,0
1979	vårvete	120	0	0	0	0	4,4
1980	korn	91	0	0	0	0	4,8

Den stora transporten av övrig fosfor vid Vettinge var främst knuten till erosion av oorganiskt material. Erosionen framstår som en faktor av ökande betydelse i fosforsammanhang främst genom att den öppna växtodlingen ökar på bekostnad av den slutna. Jorden blottläggs härvid för erosionskrafterna.

*Kalium.* I naturligt tillstånd förekommer relativt små kaliummängder på en sandjord. Kaliummängden är nämligen knuten till lerhalten men även adsorption och fixering av kalium är större på en lerjord. Detta gör att även om kaliumtillgången är god i en lerjord så blir förlusterna till vattensystemen vanligen små. Resultaten visade också att kaliumförlusterna från lerjordarna var små men de var samtidigt betydande från sandjordarna. Det senare beror på att gödselkalium läckte ut. De mycket stora förlusterna vid Kärrdala förklaras genom den intensiva kaliumgödslingen därstädes.

#### *Grödans inverkan på utlakningen*

*Exempel.* För att illustrera grödans betydelse redovisas resultaten från två av försöksfälten. Skillnaden i läckage mellan öppen och slutna växtodling framgår av mätningarna vid Flinkesta och skillnaden mellan olika grödor inom den öppna växtodlingen belyses av mätningarna vid Näsbygård.

*Öppen och slutna växtodling.* Försöken vid Flinkesta har pågått sedan 1973 och inleddes med fyra år öppen odling. Det femte året såddes havre med insädd, varefter vallen låg i tre år. Odlingsåtgärder framgår av tabell 1.

Som framgår av fig. 4 minskade nitrathalterna i dräneringsvattnet redan under insäddningsåret och förblev låga under hela vallperioden. Inte heller efter vallbrottet på hösten 1980 steg halterna. Främst berodde detta på att vallbrottet skedde sent, 18-19 november, varför någon nämnvärd mineralisering ej hann ske innan vinterns inträde.

Endast vid ett tillfälle under vallperioden översteg halten 10 N mg/l, nämligen i april 1980. Orsaken var en tidig vårgödsling med åtföljande ytavrinning, varvid gödselkväve spolades ut. Förlusterna blev emellertid små.

Även fosfortransporten minskade under vallodlingen. Det var främst den övriga fosfor som minskade, vilket innebär att växttäckets erosionsdämpande.

*Öppen växtodling.* Försöket vid Näsbygård har också pågått sedan 1973. Växtföljdsomloppet har omfattat vårvete, korn och sockerbetor. Nästan tre sådana omlopp hade medhunnits då växtföljden ändrades genom att höstraps såddes efter kornet 1980. Odlingsåtgärder framgår i detalj av tabell 2. En viss ökning av kvävegivorna kunde förmärkas under de sista tre åren.

Som framgår av fig. 5 slog torråret 1975/76 igenom kraftigt på avrinningen, som detta år uppgick till endast 16 mm. Vintrarna 1978/79 och 1979/80 var relativt kalla och avrinningen dämpades då under januari och februari.

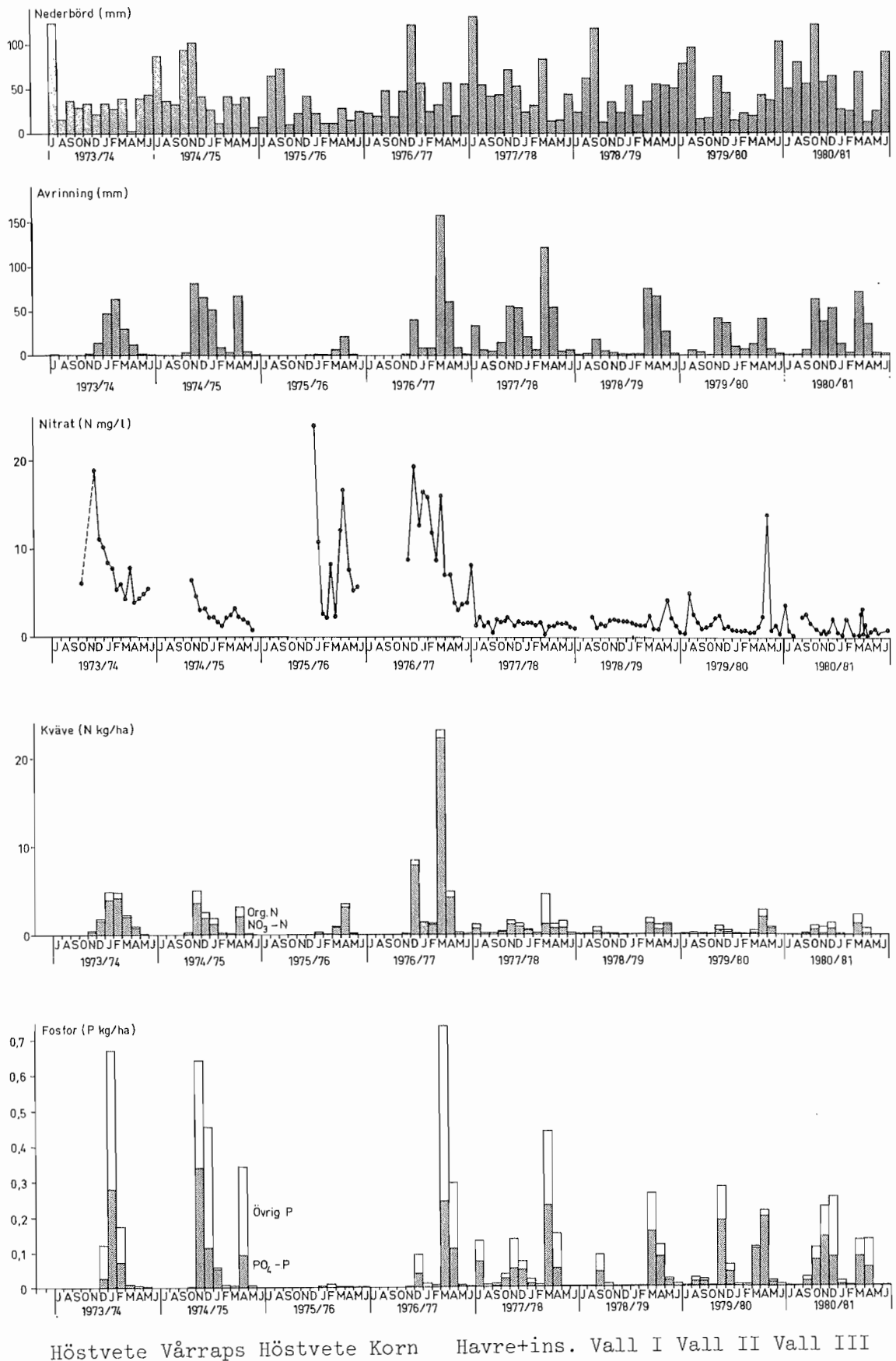


Fig. 4. Nederbörd, avrinning, kväve och fosfor vid Flinkesta.



Nitrathaltens inomårsvariation var vissa år relativt stor.

Kvävetransporten varierade beroende på avrinning, gröda och vinterns stränghet. För de olika grödorna erhöles följande utlakning (alla värden i N kg/(ha·år)):

Vårvete	36	41	22
Korn	33	32	
Sockerbetor	2	12	

För stråsåden blev utlakningen storleksmässigt lika. Den lägsta utlakningen för vårvete inträffade 1979/80 då vintern var relativt kall,

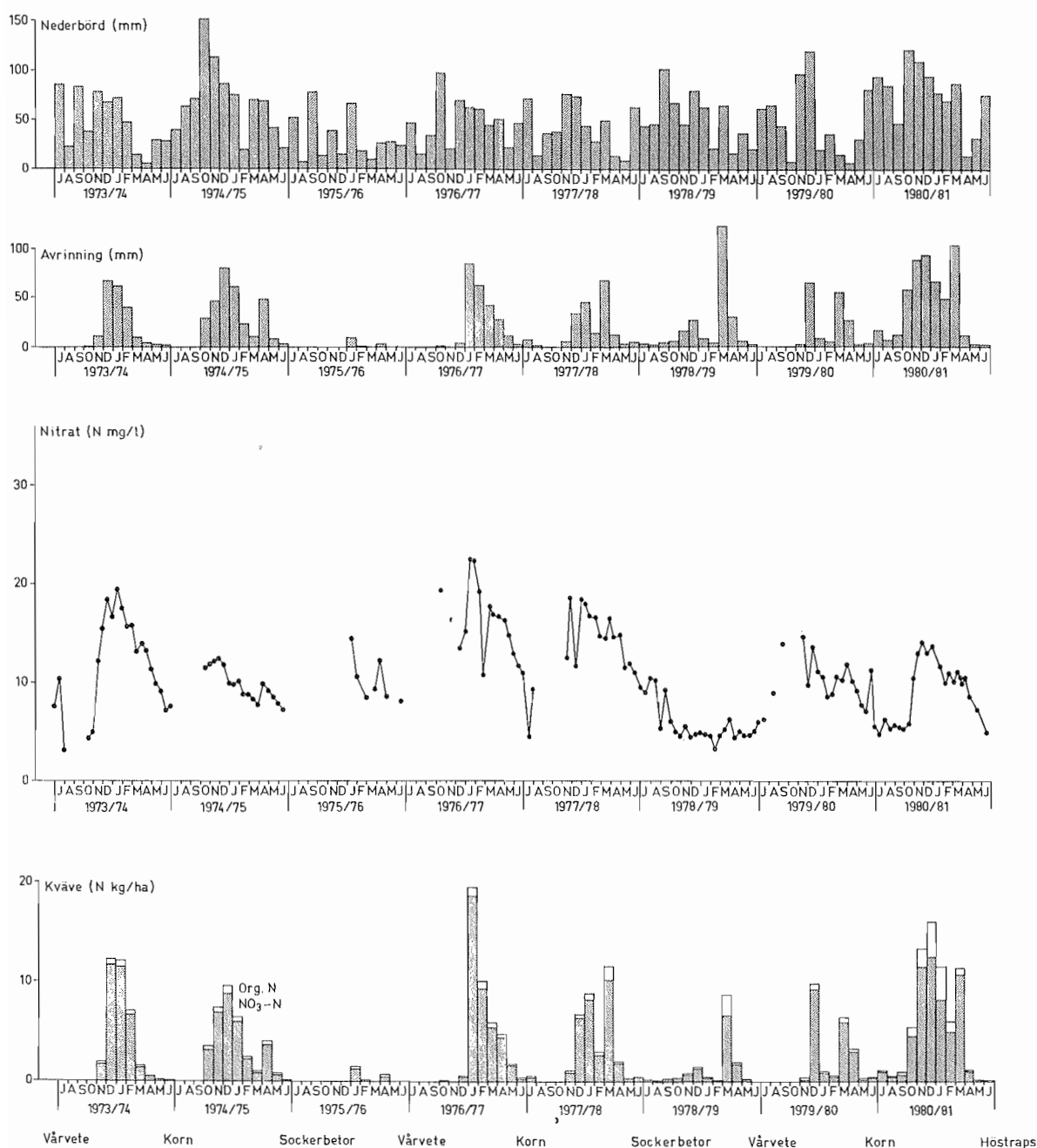


Fig. 5. Nederbörd, avrinning och kväve vid Näsbygård.

vilket sannolikt förde med sig att vintermineraliseringen var lägre än normalt och tillgången på nitrat därför också blev mindre än normalt.

Den kraftigaste avvikelserna erhöles för sockerbeterna. Dessa växer långt in på hösten och skördas sent. Bli sedan väderleken kall efter skörd dämpas mineraliseringen av skörderesterna och utlakningen blir liten. Dessa förhållanden rådde andra odlingsåret. Främsta orsaken till det låga värdet första året var däremot den låga avrinningen 1975/76.

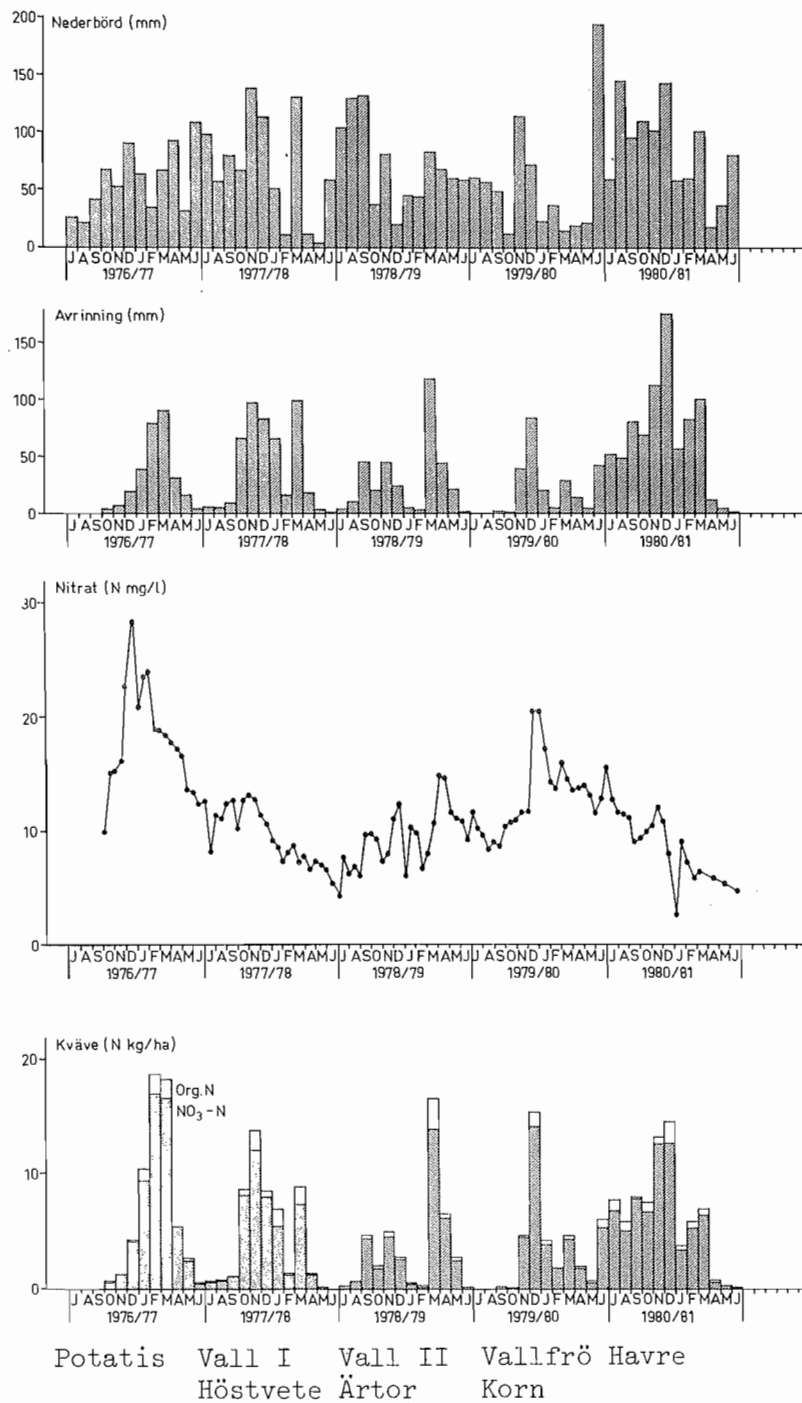


Fig. 6. Nederbörd, avrinning och kväve vid Skottorp.

Tabell 3. Gröda, gödsel och skörd vid Skottorp.

År	Gröda	Handelsg. (kg/ha)			Stallg. (t/ha)		Bevattn. (mm)	Skörd (t/ha)
		N	P	K	Fast	Flyt		
<i>Skottorp</i>								
1976	potatis	121	55	198	0	0	5x35	38
1977	vall, insådd	100	25	45	0	0	0	hög
	höstvet	117	0	0	0	0	0	4,6
1978	vall II	128	40	96	0	0	0	normal
	ärtor	0	30	96	0	0	0	5,0
1979	vallfrö	101	0	0	0	20	0	0,75
	korn	101	0	0	0	0	0	4,1
1980	havre							

*Inverkan av intensiv sommarbör*

*Exempel.* Normalt är sommarbörden inte större än att den helt eller nästan fyller grödans vattenbehov under växtsäsongen. Undantag förekommer dock och vid intensivt regnande sommartid uppkommer en avrinning och utlakning som ibland kan vara anmärkningsvärt stor. Detta kan belysas med resultat från försöksfältet Skottorp beläget i södra Halland. Jordarten på försöket är sand.

*Odlingsåtgärder.* Mätningarna startade det agrohydrologiska året 1976/77. Både öppen och sluten växtodling har förekommit (tabell 3). Då två grödor odlades var försöksfältet delat i två lika stora halvö.

*Nederbör och avrinning.* Som framgår av fig. 6 var nederbörden kraftig under perioden juni-december 1980. Detta gav också kraftigt utslag i avrinningen under samma tid. Speciellt anmärkningsvärd är den stora avrinningen under sommaren (juni-september) både vad det gäller storleken (225 mm) och tidpunkten.

*Kvävetransport.* Årstransporterna var genomgående höga och varierade enligt följande (värden N kg/(ha·år)):

År	76/77	77/78	78/79	79/80	80/81
Transport	63	52	43	39	76

Under den period då vall odlades på halva fältet dämpades således läckaget. Till följd av den stora avrinningen sista året och en flytgödsling under högvintern blev läckaget som störst detta år. Mest anmärkningsvärt är dock läckaget under perioden juni-september, vilket uppgick till 35 N kg. Detta är av samma storleksordning som det normala årliga läckaget från en moränlera i Skåne.

REFERENSER

Brink, N., Gustafson, A. & Persson, G. 1978. Förluster av växtnäring från åker. *Ekohydrologi nr 1*, 1-60.



# EROSION AV FOSFOR FRÅN ÅKER

## *Erosion of phosphorus from arable land*

Barbro Ulén

*Abstract.* Measurements of phosphorus erosion indicate that a great part of the total phosphorus from land may take this form. This is especially the case during the snow melt when much runoff may occur as surface runoff.

Far less phosphorus was eroded from woodland than from arable land. Less phosphorus was also eroded from arable land covered by plants than from ploughed fields, although the material from the former had higher phosphorus content.

The eroded phosphorus was characterized by successive centrifugation in two steps. The majority of the eroded phosphorus was inorganic, half of it seemingly being non-colloidal and the other half colloidal. The variation between different places was, however, great.

Since much of the eroded phosphorus consists of particles with little ability to sediment it may be transported long distances, and of great ecological importance.

### INLEDNING

Från marken sker förluster av eroderat material som bl.a. innehåller fosfor. Denna har sedan större eller mindre förmåga att sedimentera eller föras längre ut i vattendragen.

En orienterande undersökning gjordes för att få ett begrepp om mängden eroderad fosfor från åkermark och skogsmark. Sedimenterbarheten av sådant material och en ytterligare karakterisering gjordes genom två successiva centrifugeringar av en del av proven.

### METODER OCH MATERIAL

#### *Sedimenterbarhet och karakterisering av eroderat material*

Samband mellan sedimentationshastighet och partiklar som är typiska för naturvatten har upprättats av Lammers (1966). Se fig. 1. Tätheten be-

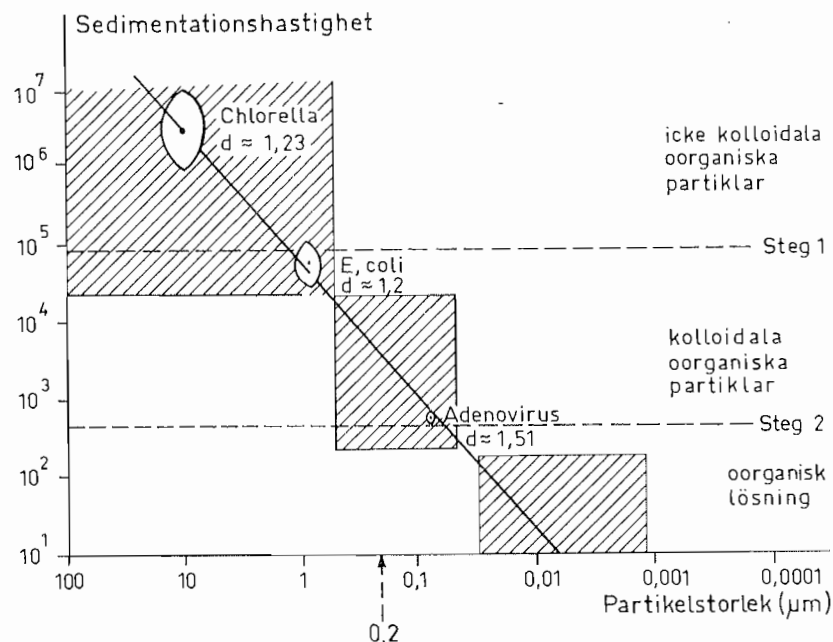


Fig. 1. Sedimentationshastighet (Svedbergenheter) och storlek av partiklar i naturvatten (från Lammers 1966). *Rate of sedimentation (Svedberg Units) versus size of particles typical of natural waters (from Lammers 1966).*

tecknad med  $d$  anges i figuren för några biologiska organismer. Tätheten för oorganiska partiklar antogs av Lammers ligga i intervallet 2,6-3,2. Vidare angavs gränsen mellan icke-kolloidala och kolloidala partiklar vara partiklar med en ungefärlig diameter av 0,5  $\mu\text{m}$ . Dylka partiklar har en sedimentationshastighet av 20 000 Svedbergenheter ( $10^{-13}\text{s}^{-1}$ ). En undre gräns för kolloidala oorganiska partiklar sattes av Lammers vid ungefär 200 Svedberg.

I denna undersökning användes av praktiska skäl avskiljningsgränserna 80 000 och 400 Svedberg (steg 1 resp. steg 2) som uppnåddes genom centrifugeringen. Dessa utfördes i en kontinuerlig centrifug efter det att material först fått sedimentera vid 1 g och avlägsnats.

De avskilda materialen benämns fortsättningsvis pellet 1 och pellet 2. Dessa analyserades på fosforhalt, torrsvikt och glödgningsförlust (fig. 2). Centrifugeringen utfördes av Separationscentralen vid Biomedicinskt centrum i Uppsala.

En liten mängd ocentrifugerat provvatten filtrerades på membranfilter (Sartorius 1107) med 0,2  $\mu\text{m}$  porstorlek (filterkaka 0). Mängden material visade sig vara nästan lika med den sammanlagda mängden i pellet 1 och pellet 2. Skillnaden var i genomsnitt endast ett par procent. Membranfiltreringen avskiljer sålunda i praktiken även partiklar som är mindre än 0,2  $\mu\text{m}$ . Filtreringen har därför använts för att få ett snabbt mått på mängden eroderat material.

Totalfosfor i vätskan före och efter filtreringen bestämdes. Skillnaden benämns eroderad fosfor.

Även supernatanterna membranfiltrerades. Totalfosfor i filtraten benämns icke-partikulär fosfor.

### Provinsamling

Under vårfloden 1981 insamlades vattenprov från 40 åkerskiften och 10 skogsskiften i Södermanland samt från 56 åkerskiften i Västergötland.

Vid några tillfällen, vanligen fem gånger i samband med kraftigt vårflöde, togs även prov vid några av avdelningens försöksfält (fig. 3). Dessa fält har beskrivits av Brink, Gustafson & Persson (1979). Vid provtagningen noterades vattenföringen. Alla prov analyserades på eroderat material och eroderad fosfor efter membranfiltrering.

En fullständigare analys gjordes på följande antal prov efter successiva centrifugeringar: sammanlagt 20 från Södermanland och Västergöt-

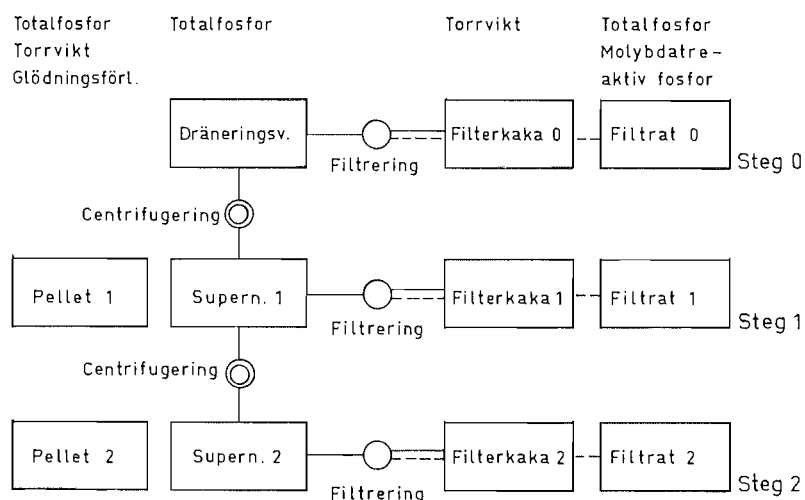


Fig. 2. Analysgång, analytical scheme. Totalfosfor, total phosphorus. Torrsvikt, dry weight. Glödgningsförlust, loss of ignition.

Tabell 1. Medianvärden för eroderat material och fosforhalt från skilda regioner och provtagningsstider. *Median of eroded material and phosphorus content from different regions and sampling times.*

Prov		Tid	Eroderat material (g/l)	P (%)
Västergötland	åker <sup>a</sup>	23 mar - 26 mar	0,04	0,13
Södermanland	åker <sup>a</sup>	25 mar - 27 mar	0,25	0,06
Södermanland	åker <sup>a</sup>	7 apr - 10 apr	0,04	0,09
Södermanland	skog <sup>b</sup>	7 apr - 10 apr	0,008	0,09

<sup>a</sup>Farmland. <sup>b</sup>Forest.

land, vardera ett prov från Lökene och Röbbäcksdalens försöksfält, två prov från Däntersta försöksskog nära Flinkesta i Södermanland och fem prov från Flinkesta. De sistnämnda representerar några olika hydrologiska situationer före och efter vallbrott.

## RESULTAT

### *Eroderad fosfor i Södermanland och Västergötland*

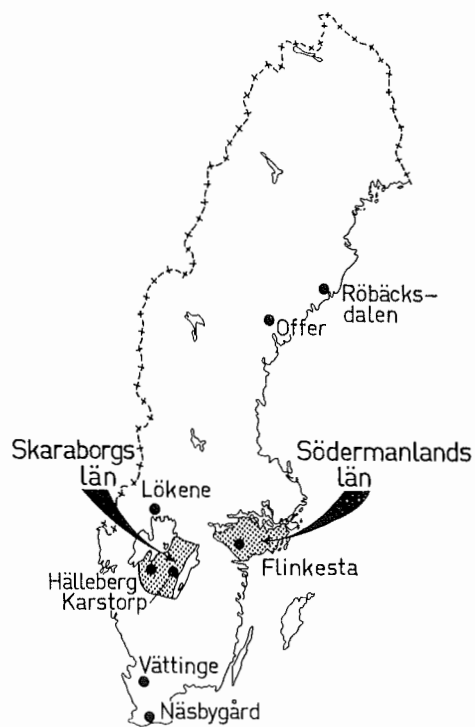
Proven från Södermanland och Västergötland härstammade från skilda jordarter, markvegetation och hydrologiska situationer. Det är därför naturligt att mängden eroderat material och eroderad fosfor varierade kraftigt (fig. 4). Även fosforhalten i det eroderade materialet varierade avsevärt. I genomsnitt var denna halt 0,09 procent av torrvikten.

Medianvärdena för de två regionerna vid olika provtagningsstider fördelade sig enligt tabell 1. En mera kuperad terräng och därmed kraftigare ytavrinning kan vara förklaringen till den högre halten eroderat material i slutet av mars i Södermanland jämfört med Västergötland. Under senare skede av snösmältningsperioden då ytavrinningen antagligen spelade mindre roll sjönk halten eroderat material även i Södermanland. Däremot var fosforhalten inte speciellt hög i samband med att höga halter eroderat material uppmättes i Södermanland.

Tabell 2. Årlig transport av totalfosfor och övrig fosfor samt växttäck, eroderat material och eroderad fosfor under våren 1981. *Runoff and transport of total phosphorus and other phosphorus throughout the year 1980/81 together with eroded material and eroded phosphorus during spring flood.*

Station	År 80/81		Växttäck	Våren 81. Spring 81.		
	Tot-P (kg/ha)	Övr. P (kg/ha)		Eroderat material (g/l)	Eroderat material (kg/ha)	Eroderad P (kg/ha)
RÖ <sup>a</sup>	0,13	0,03	Delvis plöjd <sup>b</sup>	0,015	17	0,01
OF	0,16	0,06	Vall <sup>c</sup>	0,020	24	0,02
FL	0,88	0,49	Helt plöjd <sup>d</sup>	0,480	509	0,46
HÄ	0,15	0,09	Helt plöjd <sup>d</sup>	0,149	88	0,08
KA	0,34	0,12	Höstvete <sup>e</sup>	0,020	11	0,01
VÄ	0,53	0,23	Delvis plöjd <sup>b</sup>	0,046	34	0,03
NÄ	0,19	0,08	Höstraps <sup>f</sup>	0,004	4	0,004

<sup>a</sup>Endast ytvatten. <sup>b</sup>Partly ploughed up. <sup>c</sup>Ley. <sup>d</sup>Wholly ploughed up. <sup>e</sup>Winter wheat. <sup>f</sup>Winter rape.



Plats	Jordart
RÖ Röbbäcksdalen	Lerig mo
OF Offer	Mjäla
FL Flinkesta	Lera
HÄ Hälleberg	Grovmo
KA Karstorp	Lera
VÄ Vättinge	Lera
NÄ Näsbygård	Moränlera

Fig. 3. Försöksfält, gårdens namn och dominerande jordart. *Experimental fields, name of the farm and dominating soil type.* Lerig mo, sandy clay loam. Mjäla, silt. Lera, clay. Grovmo, fine sand. Moränlera, clay till.

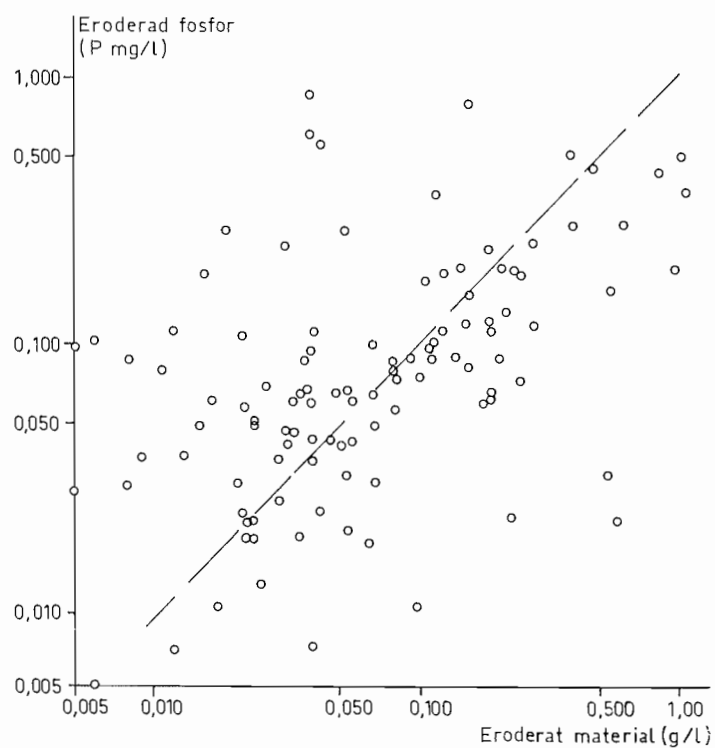


Fig. 4. Samband mellan eroderad fosfor och eroderat material från åker i Södermanland och Västergötland. *Eroded phosphorus versus eroded material in Södermanland and Västergötland.*



### Eroderad fosfor från försöksfält

Under snösmältningsperioden kunde halten eroderat material variera med en faktor upp till 900. De högsta halterna och de största variationerna uppmättes på de helt plöjda skiftena på Flinkesta och Hälleberg. Antalet prov är alldeles för litet för att man skall kunna upprätta några samband mellan vattenföringen och halten eroderat material.

För att ändå få en uppfattning om transporten av eroderat material har medelvärden beräknats på varje försöksfält. För transportberäkning av eroderad fosfor (tabell 2) har det eroderade materialet antagits ha den funna genomsnittliga fosforhalten 0,09 %. Värdena antyder att transporten av eroderad fosfor under våren svarade för omkring hälften av den årliga totalfosfortransporten från plöjda fält. Från bevuxna åkrar motsvarade transporten av eroderad fosfor under våren 2-13 procent av den årliga totalfosfortransporten. Den minsta transporten av eroderad fosfor skedde i södra Sverige. I Norrland var den större. Där spelar yterosionen under våren en viktig roll.

Största mängden eroderat material uppmättes från en mojord när vårflödet var mycket kraftigt (fig. 5). Materialet var mycket lättsedimenterbart och hade litet fosforinnehåll. Efter steg 1 återstod nämligen bara 1,5 % av det eroderade materialet.

De styva lerorna hade större halt av eroderat material än lättlerorna. Även halten eroderad fosfor var större. Halten sedimenterande material mellan varje steg var lika stor för alla jordarter och i medeltal:

	Filterkaka	Filterkakafosfor
Steg 0 - steg 1	43	42
Steg 1 - steg 2	39	34

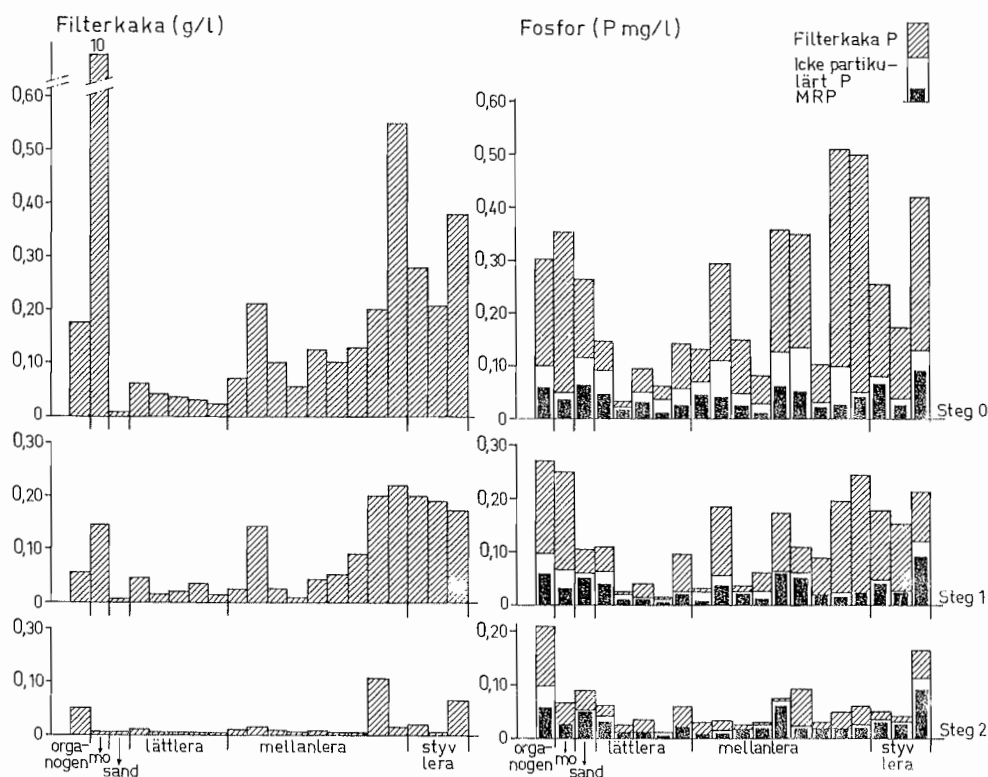


Fig. 5. Filterkaka och fosforfraktioner i olika centrifugeringssteg. Prov från åkrar med olika jordarter. *Filter cake and phosphorus fractions in different steps of centrifugation. Samples from fields with different soil types.* Icke partikulärt P, phosphorus not in particles. MRP, molybdate reactive phosphorus.

Tabell 3. Jordart, fosforhalt (P) och glödningsförlust (GLF) i procent av torrvikten i pellet 1 och 2. *Soil type, phosphorus (P) and ashfree weight (GLF) in percent of dry weight in pellet. (All values in %.)*

Jordart	Pellet 1		Pellet 2		Jordart	Pellet 1		Pellet 2	
	P	GLF	P	GLF		P	GLF	P	GLF
<i>Södermanland</i>					<i>Västergötland</i>				
Styv lera <sup>a</sup>	0,08	9	0,12	9	Styv lera <sup>a</sup>	0,10	11	0,13	14
Mellanlera <sup>b</sup>	0,09	5	0,21	10	Styv lera <sup>b</sup>	0,08	12	0,08	9
Mellanlera	0,09	22	0,08	21	Mellanlera <sup>b</sup>	0,33	7	0,11	8
Mellanlera	0,20	14	0,53	12	Mellanlera	0,08	24	0,08	20
Mellanlera <sup>c</sup>	0,08	69	0,05	69	Mellanlera	0,14	22	0,10	20
Lättlera <sup>d</sup>	0,15	28	0,20	22	Mellanlera	0,14	11	0,10	16
Lättlera	0,04	14	0,02	33	Lättlera <sup>d</sup>	0,25	19	0,20	37
Lättlera	0,07	32	0,07	37	Sand <sup>f</sup>	0,77	7	0,41	8
Lättlera	0,07	21	0,10	31					
Kärrtorv <sup>e</sup>	0,20	30	0,10	21					
<i>Värmland</i>					<i>Västerbotten</i>				
Mo <sup>g</sup>	0,09	10	0,24	15	Mo <sup>h</sup>	0,12	43	0,10	40

<sup>a</sup>Heavy clay. <sup>b</sup>Mean clay. <sup>c</sup>Stallgödsel, farmyard manure. <sup>d</sup>Loam. <sup>e</sup>Peat.  
<sup>f</sup>Sand. <sup>g</sup>Fine sand. <sup>h</sup>Mjällig lerig mo, loamy fine sand.

Det eroderade materialet från de flesta lerjordarna hade liten glödningsförlust (tabell 3), framför allt de styva lerorna. Eftersom materialmängden i genomsnitt var lika i pellet 1 som i pellet 2 förelåg materialet i ungefär lika delar i icke-kolloidal och kolloidal oorganisk form. Totalt sett var det ingen skillnad i fosforhalten i pellet 1 och pellet 2 även om variationen i enskilda prov kunde vara stor. För att få en uppfattning om den eroderade fosfor skulle det därför räcka med ett centrifugeringssteg.

Den högsta glödningsförlusten återfanns i eroderat material från en stallgödsblad lerjord i Södermanland. Däremot var glödningsförlusten mycket låg i material från en stallgödsblad sandjord från Västergötland. Även fosforhalterna var mycket olika från de båda stallgödsblade åkrarna. Förmodligen kan olika ålder på gödseln och olika spridningssätt starkt påverka kvalitén på det eroderade materialet.

#### *Erosionens beroende av flöde och växttäck*

Den hydrologiska situationen både före och vid själva provtagningstillfället hade stor betydelse för mängden eroderad fosfor. Vid Flinkesta (tabell 4) var flödet under de båda första provtagningarna långsamt minskande efter att ha varit ganska måttligt de närmaste dagarna innan. Mängden eroderat material var vid båda tillfällena litet. Den 23 juni ökade vattenföringen mycket snabbt efter ett kraftigt regn. Marken hade dessförinnan varit torr under en längre tid. En stor mängd eroderat material kom då ut i dräneringsvattnet. Materialet sedimenterade till största delen redan vid steg 1 (fig. 6).

Den 19 november var vattenföringen också starkt stigande. Detta sammanföll med att vallen dagen innan brutits. Stora mängder eroderat material som visade sig svårsedimenterbart uppmättes då.

Det sista provet på Flinkesta representerar ett ganska kraftigt vårflöde då marken var nästan snöfri och obevuxen. Erosionen var också då kraftig men materialet sedimenterade relativt lätt.

Från de sörmländska åkrarna med växttäck var fosforhalten i det ero-

Tabell 4. Växttäcke, flöde, eroderat material och eroderad fosfor vid Flinkesta försöksfält. *Vegetation, flow, eroded material and eroded phosphorus at Flinkesta experimental field.*

Datum	Växttäcke	Flöde (l/s)	Eroderat material (g/l)	Eroderad fosfor (mg/l)
28 sep-79	Vall <sup>a</sup>	0,046	0,034	0,065
6 maj-80	Vall <sup>a</sup>	0,114	0,005	0,008
23 jun-80	Vall <sup>a</sup>	0,080	0,182	0,376
19 nov-80	Vallbrott <sup>b</sup>	1,586	0,431	0,729
25 mar-81	Plöjd <sup>c</sup>	5,055	0,549	0,490

<sup>a</sup>Ley. <sup>b</sup>Ploughing up. <sup>c</sup>Ploughed up.

derade materialet genomgående högre än i materialet från de plöjda åk-  
rarna (tabell 5). Vid Flinkesta försöksfält var fosforhalten låg i  
pellet 1 då marken hade varit plöjd under vintern jämfört med halten  
från växttäckt mark och jämfört med halten omedelbart efter det att  
växttäcket brutits. Vegetationstäcket medförde alltså oftast högre fos-  
forhalt i det eroderade materialet. Glödgningsförlusterna visade emeller-  
tid inte på någon högre halt organiskt material som skulle kunna antyda  
att den högre fosforhalten berodde på en hög andel organisk fosfor.

Eroderat material från försöksskogen hade låg fosforhalt. Proven togs  
i ett skogsdike med lerslänter och det är möjligt att det eroderade mate-  
rialet härstammar från dessa.

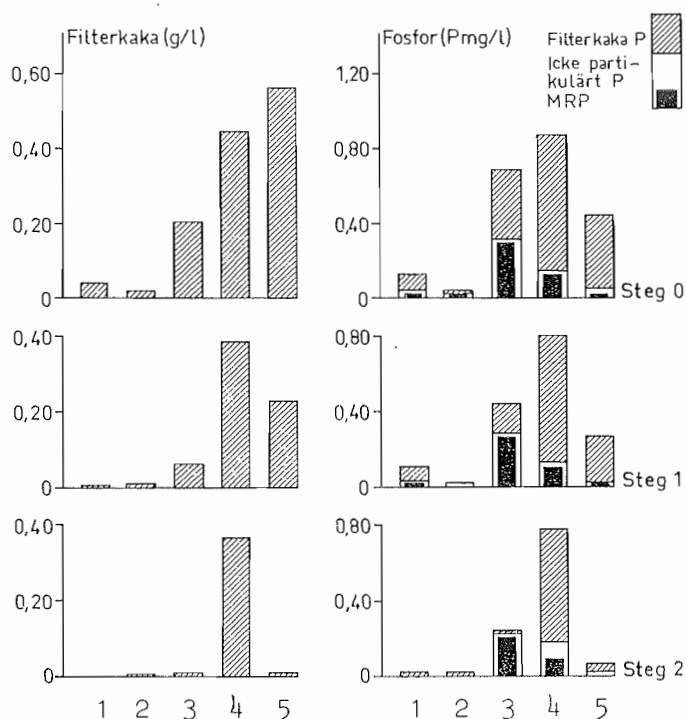


Fig. 6. Filterkaka och fosforfraktioner i olika centrifugeringssteg. Proven från Flinkesta försöksfält följande dagar: 1, 28 sep-80. 2, 6 maj-80. 3, 23 jun-80. 4, 19 nov-80. 5, 25 mar-81. *Filter cake and phosphorus fractions in different steps of centrifugation. Samples from Flinkesta experimental field.*

Tabell 5. Växttäcke och fosforhalt (P) i procent av torrvikten i pellet 1 och 2. *Plant cover together with phosphorus (P) in percent of dry weight.*

Växttäcke	Pellet 1 P (%)	Pellet 2 P (%)	Växttäcke	Pellet 1 P (%)	Pellet 2 P (%)
<i>Flinkesta försöksfält</i>			<i>Övriga Södermanland</i>		
Vall <sup>a</sup>	0,20	0,18	Vall <sup>a</sup>	0,20	0,10
Vall	0,23	0,14	Höstvete <sup>e</sup>	0,15	0,20
Vall	0,22	0,26	Stubb <sup>f</sup>	0,20	0,53
Vallbrott <sup>b</sup>	0,19	0,18	Plöjd <sup>c</sup>	0,07	0,06
Plöjd <sup>c</sup>	0,09	0,21	Plöjd	0,07	0,07
<i>Däntersta försöksskog</i>			Plöjd	0,07	0,10
Skog + alkärr <sup>d</sup>	0,08	0,11	Plöjd	0,09	0,08
Skog + alkärr	0,09	0,09	Plöjd	0,04	0,02
			Plöjd	0,08	0,12

<sup>a</sup>Ley. <sup>b</sup>Ploughing up. <sup>c</sup>Ploughed up. <sup>d</sup>Forest + alder bog. <sup>e</sup>Winter wheat.  
<sup>f</sup>Stubble.

#### SAMMANFATTNING

De erhållna resultaten antyder att en betydande andel av årliga fosforförluster från plöjda åkrar består av eroderad fosfor. Från bevuxna åkrar eroderades måttliga mängder fosfor men det eroderade materialet hade ofta en hög fosforhalt.

Halten eroderat material var högre från styva lerjordar än från lättare. Från mojord eroderades mycket höga halter lättsedimenterbart material vid vårfloden.

Det eroderade materialet bestod huvudsakligen av oorganiskt material. Fosfor var alltså huvudsakligen minerogent bunden. I stort bestod den till hälften av icke-kolloidal och till hälften kolloidal form. Vid enskilda provplatser kunde emellertid den ena eller den andra fraktionen dominera.

#### REFERENSER

- Brink, N., Gustafson, A. & Persson, G. 1979. Förluster av kväve, fosfor och kalium från åker. *Ekohydrologi* nr 4, 7-57.  
Lammers, W.T. 1966. Natural water fractionation: Theory and practice. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 16, 452-458.

# KVÄVEUTLAKNINGENS FÖRÄNDRING VID REDUCERAD GÖDSLING

Rikard Jernlås

## INLEDNING

Sedan åkermarkens kväveläckage till sin storlek kunnat fastställas har ett stort intresse knutits till möjliga motåtgärder. Många åtgärder har diskuterats och några har prövats.

Ännu är mycket ogjort vad gäller utvärderingen av föreslagna utlakningshämmande åtgärder. I följande text har ett försök gjorts att utvärdera effekten av minskade kvävegivor.

## GÖDSLING

För att kunna bedöma effekten av en reducerad gödsling måste man veta den nuvarande gödslingens arealfördelning. Uppgifter härom har hittills varit knapphändiga men flera undersökningar är under bearbetning. I tabell 1 redovisas resultat från en enkät (Andersson, 1981) till 2000 jordbrukare i Blekinge och Kristianstads län, varav 500 svarade. Materialet är under bearbetning varför resultatet ännu ej kan redovisas fördelat på areal utan endast på brukare. Klart är ändå att gödslingsnivån är hög till mycket hög.

Då de ur urlakningssynpunkt problematiska områdena i Sverige är mycket djurtäta kan en kombinerad handelsgödsel- + stallgödselanvändning tas som utgångspunkt för ett räkneexempel. Som rimlig gödslingsnivå kan då sättas ett värde om ca 155 N kg/ha med en uppskattad standardavvikelse om 20 N kg/ha. Arealandel för viss kvävegiva blir då som redovisas i fig. 2.

## SAMBAND GÖDSLING - UTLAKNING

Sambandet mellan gödsling och utlakning är väl belagt från endast ett fältförsök på Lanna försöksstation (Brink & Lindén 1980). Data från de senaste tre åren används (fig. 1). Utlakningen är justerad uppåt med hänsyn till de mängder som uppskattas ha transporterats under dräneringsdjup och aktivt rotdjup.

## UTLAKNING

Utlakningen kan nu beräknas för den areella gödslingsfördelning som redovisats i fig. 2. I fig. 3 återges resultatet som där fördelats på 5 kg intervall. Detta ger en total utlakning på 38,2 kg N per ha för ett tänkt område. Hade ingen spridning kring medelgivan funnits hade utlakningen blivit 36,7 kg N per ha.

## EFFEKTEN AV EN GÖDSLINGSRESTRIKTION

Införs en gödslingsrestriktion, som innebär att gödslingen ej får överskrida en viss angiven gödslingsnivå, blir resultatet troligen att de

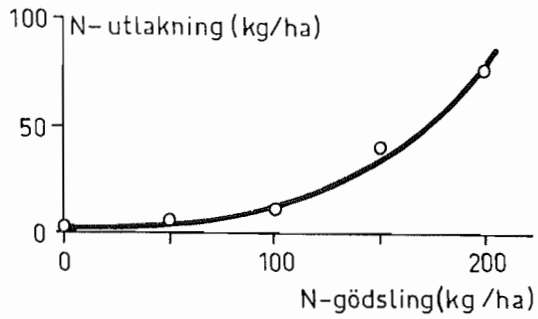


Fig. 1. Samband mellan gödsling och utlakning.

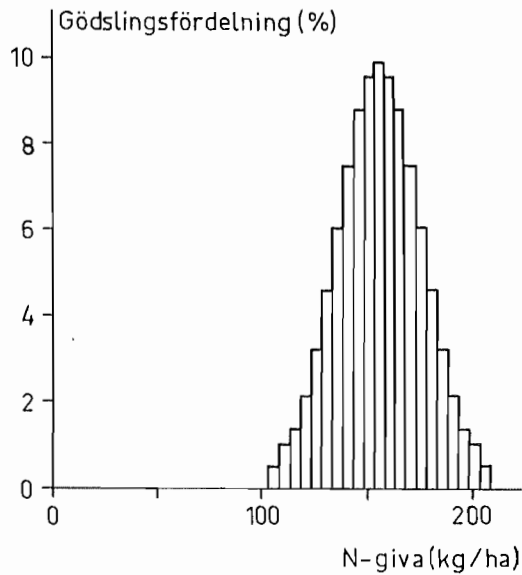


Fig. 2. Normalfördelad gödsling uttryckt som arealandel per 5 kg gödslingsintervall.

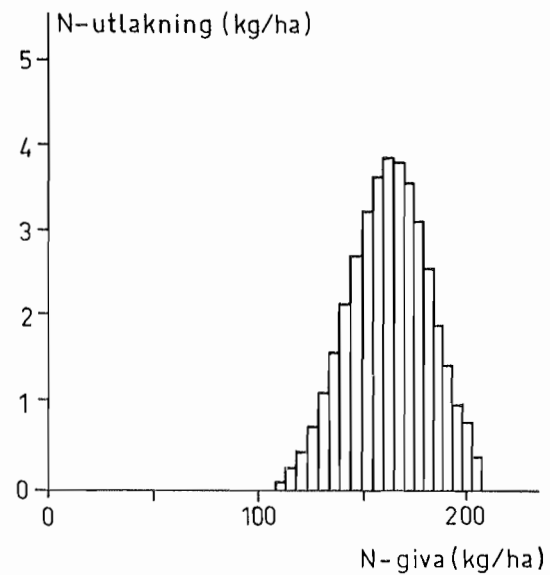


Fig. 3. Utlakning per 5 kg gödslingsintervall.

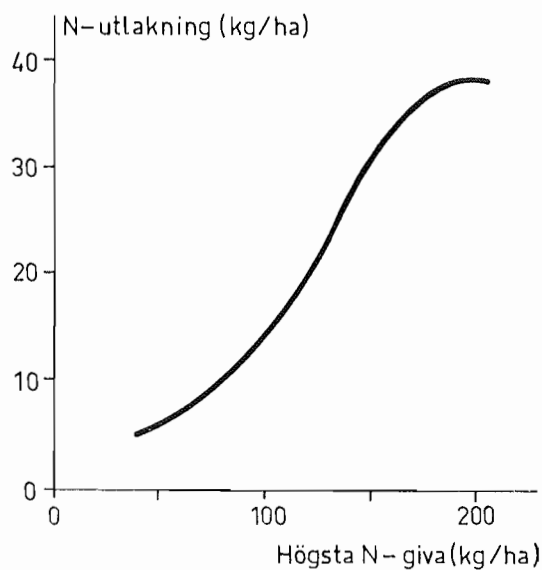


Fig. 4. Utlakning vid olika restriktionsnivåer.

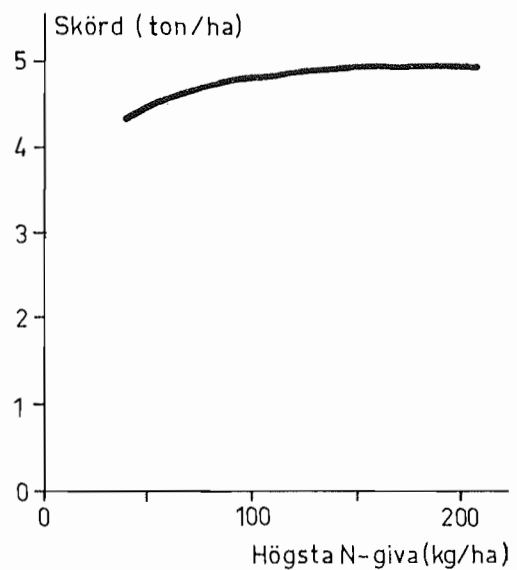


Fig. 5. Kärnskörd vid olika restriktionsnivåer.

Tabell 1. Rekommenderade och funna kvävegivor vid stallgödselanvändning. Medeltal. (Värden i kg/(ha·år).)

Gröda	Rekommenderad gödsling	Handelsgödsel	Stallgödsel	Handelsgödsel + stallgödsel
Potatis	115	98	153	251
Sockerbetor	120	113	148	261
Höstvete	110	84	120	204
Korn	90	61	95	156

arealer som annars skulle ha gödslats över högsta tillåtna nivå istället gödslas med högsta tillåtna giva. I fig. 4 visas effekten på utlakningens storlek från ett område om en gödslingsrestriktion läggs in med tidigare redovisad areell gödslingsfördelning och därmed sammanhängande utlakning. De arealer som överskridit tillåten gödslingsnivå har hänförs till högsta tillåtna gödslingsintervall. Av figuren framgår att om N-gödslingen ej tillåts överskrida 90 kg per ha skulle utlakningen reduceras med två tredjedelar.

#### INVERKAN PÅ SKÖRDEN

Med ledning av avkastningsvärden från Lanna-försöket har inverkan på medelskörden uppskattats för olika restriktionsnivåer. Gödslingens fördelning är som redovisats tidigare. Av fig. 5 framgår att skörden skulle minska obetydligt även om en mycket låg restriktionsnivå infördes.

#### DISKUSSION

Några punkter i det redovisade materialet förtjänar att närmare diskuteras.

För det första kan ifrågasättas värdet av enkätundersökningar som endast redovisar ett års gödsling. Med tanke på att marksystemet är ganska trögt i sitt utlakningssvar på insatt gödsling är det rimligt att tro att enkäter som redovisar gödslingen under flera år (trots växlande grödor) på ett bättre sätt skulle spegla utlakningsrisken än ett-årsenkäter.

För det andra kan representativiteten för utlakningsförsöket på Lanna sättas ifråga utifall man vill dra slutsatser om utlakningens beroende av gödslingen på andra jordar och i andra jordbruksområden. Onekligen skulle ett motsvarande utlakningsförsök i Sydsverige på sandjord ge betydligt mer kött på benen för den som vill uppskatta effekten av förändrade gödslingsinsatser i "problemområden". Oavsett de olikheter som finns mellan jordar vad gäller avkastnings- och utlakningskurvornas förlopp så är dessa skillnader troligen endast varianter på samma grundtyper. Därför bör det redovisade exemplet ge en principiellt riktig bild av effekten av reducerad gödsling i en jordbruksbygd.

#### REFERENSER

- Brink, N. & Lindén, B. 1980. Vart tar handelsgödselkvävet vägen. *Ekohydrologi* nr 7, 3-20.  
 Andersson, R. 1981. Växtnäringsförluster från åker och skog. *Miljö-  
 vårdsberedningen 23 november 1981, "Algblomning"*, 1-19.





- | Nr | År   | Författare och titel. <i>Author and title.</i>  |
|----|------|---|
| 6  | 1980 | Arne Gustafson och Mats Hansson. Växtnäringsförluster i Skåne och Halland. <i>Losses of Nutrients in Skåne and Halland.</i><br>Nils Brink, Sven L. Jansson och Staffan Steineck. Utlakning efter spridning av potatisfruktsaft. <i>Leaching after Spreading of Potato Juice.</i><br>Nils Brink och Arne Gustafson. Att spå om gödselkväve. <i>Forecasting the Need of Fertilizer Nitrogen.</i><br>Arne Gustafson och Börje Lindén. Lantbruksuniversitetet satsar på exaktare kvävegödsling.   |
| 7  | 1980 | Nils Brink och Börje Lindén. Vart tar handelsgödselkvävet vägen. <i>Where Does the Commercial Fertilizer Go.</i><br>Barbro Ulén och Nils Brink. Omgivningens betydelse för primärproduktionen i Vadsbrosjön. <i>The Importance of the Environment for the Primary Production in Lake Vadsbrosjön.</i><br>Arne Gustafson. Jordbruket och grundvattnet.<br>Nils Brink. Utlakningen av växtnäring från åkermark.<br>Nils Brink. Vart tar gödseln vägen.  |
| 8  | 1981 | Nils Brink. Försurning av grundvatten på åker. <i>Acidification of Groundwater on Arable Land.</i><br>Rikard Jernlås och Per Klingspor. TCA-utlakning från åker. <i>Leaching of TCA from Arable Land.</i><br>Arne Joelsson. Ytavspolning av fosfor från åkermark. <i>Storm Washing of Phosphorus from Arable Land.</i><br>Arne Gustafson, Sven-Olof Ryding och Barbro Ulén. Kontroll av växtnäringsläckage från åker och skog. <i>Control of Losses of Nutrients from Arable Land and Forest.</i>   |
| 9  | 1981 | Barbro Ulén och Nils Brink. Miljöeffekter av ureaspridning och glykolanvändning på en flygplats. <i>Environmental effects of spreading of urea and use of glycol at an airport.</i><br>Gunnar Fryk. Utlakning från upplag av malda sopor. <i>Leachate from piles of shredded refuse.</i>  |
| 10 | 1982 | Arne Gustafson och Arne S. Gustavsson. Växtnäringsförluster i Västergötland och Östergötland. <i>Losses of nutrients in Västergötland and Östergötland.</i><br>Barbro Ulén. Växtnäringsförluster från åker och skog i Södermanland. <i>Losses of nutrients from arable land and forests in Södermanland.</i><br>Arne S. Gustavsson och Barbro Ulén. Nitrat, nitrit och pH i dricksvatten i Västergötland, Östergötland och Södermanland. <i>Nitrate, nitrite and pH in drinking water in Västergötland, Östergötland and Södermanland.</i><br>Lennart Mattsson och Nils Brink. Gödslingsprognoser för kväve. <i>Fertilizer forecasts.</i> |

Denna serie efterträder den åren 1970-1977 utgivna serien Vattenvård. Här publiceras forsknings- och försöksresultat från avdelningen för vattenvård vid institutionen för markvetenskap, Sveriges lantbruksuniversitet. Serien Vattenvård redovisas i Ekohydrologi nr 1-6. Tidigare nummer i serien Ekohydrologi redovisas nedan. Alla kan i mån av tillgång anskaffas från avdelningen för vattenvård (adress nedan).

This series is a successor to Vattenvård published in 1970-1977. Here you will find research reports from the Division of Water Management at the Department of Soil Sciences, Swedish University of Agricultural Sciences. The Vattenvård series is listed in Ekohydrologi 1-6. You will find earlier issues of Ekohydrologi listed below. Issues still in stock can be acquired from the Division of Water Management (address, see below).

- | Nr | År   | Författare och titel. <i>Author and title.</i>   |
|----|------|--|
| 1  | 1978 | Nils Brink, Arne Gustafson och Gösta Persson. Förluster av växtnäring från åker. <i>Losses of nutrients from arable land.</i>  |
| 2  | 1978 | Nils Brink och Arne Joelsson. Stallgödsel på villovägar. <i>Manure Gone Astray.</i>  |
|    |      | Lars Lingsten och Nils Brink. Åkergödslingens inverkan på miljön i en bäck. <i>The Effect of Agricultural Manuring on the Environment in a Brook.</i>                |
|    |      | Nils Brink. Kväveutlakning från odlingsmark. <i>Nitrogen Leaching from Arable Land.</i>  |
| 3  | 1979 | Sven-Åke Heinemo och Nils Brink. Utlakning ur kompost av sopor och slam. <i>Leachate from Compost of Refuse and Sludge.</i>  |
|    |      | Nils Brink. Self-purification studies of silage juice.   |
|    |      | Arne Gustafson och Mats Hansson. Växtnäringsläckage på Kristianstads-slätten. <i>Loss of Nutrients on the Kristianstad Plain.</i>                                    |
|    |      | Per-Gunnar Sundqvist och Nils Brink. En gödselstad förorenar dricksvatten. <i>Pollution of the Groundwater by a Dung Yard.</i>                                       |
| 4  | 1979 | Nils Brink. Vattnet är det yppersta.   |
|    |      | Arne Gustafson och Börje Lindén. Kvävebehovet för 1979.  |
|    |      | Nils Brink, Arne Gustafson och Gösta Persson. Förluster av kväve, fosfor och kalium från åker. <i>Losses of nitrogen, phosphorus and potassium from arable land.</i> |
| 5  | 1979 | Gunnar Fryk och Sven-Åke Heinemo. Självrening av lakvatten från kompost på sand och mo. <i>Self-purification of leachate from compost on sand and fine sand.</i>     |
|    |      | Nils Brink. Växtnäringsförluster från skogsmark. <i>Losses of Nutrients from Forests.</i>  |
|    |      | Nils Brink. Utlakning av kväve från agroekosystem. <i>Leaching of Nitrogen from Agro-Ecosystems.</i>   |
|    |      | Nils Brink. Ytvatten, grundvatten och vattenförsörjningen.   |

DISTRIBUTION:

Pris: 15:-

Sveriges lantbruksuniversitet  
 Avdelningen för vattenvård  
 750 07 UPPSALA, Sweden

tel 018-10 20 00 ankn 2460