

## Innebär tillförsel av biogödsel runt Bornsjön ökad risk för fosforläckage?

En lysimeterstudie med tillförsel av rötade matrester och mineralgödsel

*Maria Blomberg, Lars Bergström, Olof Engle och Barbro Ulén*



Titel: Innebär tillförsel av biogödsel runt Borsjön ökad risk för fosforläckage? En lysimeterstudie med tillförsel av rötade matrester och mineralgödsel

Författare: Maria Blomberg, Lars Bergström, Olof Engle och Barbro Ulén

Kontakt: maria.blomberg@slu.se, 018 – 67 11 67

Utgivningsort: Uppsala

Utgivningsår: 2019

Omslagsbild: Uttagning av matjordslysimetrar nära Talby gård, Borsjön.  
Foto: Maria Blomberg

Serietitel: Ekohydrologi

Delnummer i serien: 158

ISSN: 0347-9307

ISRN: SLU-VV-EKOHYD-158-SE

Elektronisk publicering: <http://pub.epsilon.slu.se>

Bibliografisk referens: Blomberg, M., Bergström L., Engle, O. och Ulén B. (2019). *Innebär tillförsel av biogödsel runt Borsjön ökad risk för fosforläckage?* Uppsala: Sveriges lantbruksuniversitet. (Ekohydrologi, 158).

# Innehåll

Sammanfattning.....	1
1. INLEDNING.....	1
2. MATERIAL OCH METODER.....	2
2.1. Försöksplats och insamling av jordkolonner .....	2
2.2. Utlakningsexperiment .....	3
3. RESULTAT OCH DISKUSSION.....	5
3.2. Utlakning av fosfor och kväve .....	5
4. SLUTSATSER.....	9
Erkännande.....	9
REFERENSER .....	10

# Innebär tillförsel av biogödsel runt Bornsjön ökad risk för fosforläckage?

En lysimeterstudie med tillförsel av rötade matrester och mineralgödsel

## Sammanfattning

*Att använda biogödsel såsom rötat matavfall som ersättning till mineralgödsel diskuteras för att recirkulera fosfor inom jordbruket. I denna pilotstudie undersöktes om fosforläckaget efter tillförsel av avvattnat rötat matavfall skiljde sig jämfört med tillförsel av mineralgödsel (mono-ammoniumfosfat) och utan gödsling (kontroll). Biogödseln bestod av rötat matavfall med en fosforhalt av 12% beräknad per torrsvikt. De tre försöksleden utsattes för fem bevattningscykler som genererade avrinning. Gödselgivan motsvarade den högsta tillåtna och regnintensitet valdes så att det motsvarar ett värsta tänkbara scenario. Denna pilotstudie visar inte på någon förhöjd risk att sprida avvattnad biogödsel på en lerjord av den typ som användes. Effekter på näringsläckage från rötat matavfall behöver dock undersökas vidare i fältförsök.*

## 1. INLEDNING

Stockholm Vatten och Avfall ska uppföra en anläggning i Högdalens industriområde för mottagning, omlastning och sortering av Stockholm stads mat- och restavfall. Projektet går under namnet Högdalens sorteringsanläggning. Stockholm Vatten och Avfall producerar idag biogödsel från det avloppsslam som produceras i Bromma och Henriksdals reningsverk i nära anslutning till verken. Bolaget har idag ingen egen anläggning som rötar matavfall utan rötningen av insamlat matavfall från Stockholms stads invånare görs av upphandlad aktör i Stockholms närområde. En utredning genomfördes under 2016/2017 för att se om det skulle vara möjligt för bolaget att uppföra, äga och driva en egen röttningsanläggning för rötning av matavfallet i nära anslutning till den framtida sorteringsanläggningen i Högdalen. Utredningen visade dock att det av flera anledningar inte skulle vara möjligt.

Den biogödsel som skulle produceras i anläggningen planerades att delvis användas som gödselmedel på bolagets egen ägda åkermark i Bornsjöområdet. Det finns dock frågetecken kring att använda fosforrika biogödselmedel på åkermark. Tidigare forskning har visat att avrinning av fosfor från åker är ett av de största hoten för eutrofiering av våra vatten och biogödsel är rik på fosfor. Bornsjön är Stockholms stads enda reservvattentäkt vilket gör att det är viktigt att sjön fortsätter ha en god ekologisk status och att den skyddas från bland annat ökad tillförsel av fosfor och kväve.

Stockholm Vatten och Avfall har därför bett Sveriges lantbruksuniversitet, SLU, att i en pilotstudie undersöka hur användning av biogödsel från matavfallsrötning skulle kunna påverka fosforutlakningen i Bornsjöområdet i jämförelse med användning av handelsgödsel.

Ulén och Persson (1999) uppmätte med flödesproportionell provtagning utlakningsförluster från ett observationsfält i Bornsjöområdet under en sexårsperiod. De visade att fosforförlusterna inträffade snabbt under korta perioder med hjälp av flödesproportionell provtagning. I medeltal inträffade 50% av den årliga utlakningen av fosfor inom sammanlagt 140 timmar. Partikelbunden fosfor (PP) utgjorde 63% av den totala fosfortransporten för det aktuella fältet. Flera faktorer påverkar fosforutlakningen från jordbruksmark. Nederbörd direkt efter spridning innebär att riskerna för utlakningsförluster av fosfor ökar kraftigt (Withers m.fl., 2003), särskilt från lerjord (Liu m.fl., 2012a). I en lysimeterstudie med en svensk lerjord använde man mineralgödsel som var märkt med den radioaktiva isotopen <sup>33</sup>P, studien visade att 70 % av den utlakade fosfor hade sitt ursprung i den mineralgödsel man gödslat med (Djordjic m.fl., 1999).

Tidpunkten för tillförseln och typen av gödselmedel är följaktligen faktorer av stor betydelse för fosforutlakningen. Det finns en risk att man bygger upp stora fosforförråd i marken om man under lång tid gödslar med mer fosfor än vad växten tar upp (Maguire m.fl., 2001). I ett 20-årigt experiment

applicerades avloppsslam på en åker med mestadels vete som gröda. Resultaten visade en ökning av fosforinnehållet i marken och en ökning av järnbunden fosfor då slammet hade behandlats med järnsulfat -  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$  (Ippolito m.fl., 2007).

Tillgängligheten och möjligheten att mobilisera fosfor i marken är också betydelsefull för fosforutlakningens storlek. Halten av löst fosfor i relation till partikelbunden fosfor varierar mycket både i tid och rum. Höga halter växttillgänglig fosfor i matjorden medför även förhöjda halter löst fosfor i dräneringsvattnet (Ulén m.fl., 2016). Växttillgängligheten av den fosfor som finns i biogödsel beror på dess ursprung, behandling och lagring. Därför är det bäst att analysera biotillgängligheten av fosfor snarare än det totala fosforinnehållet (Maguire m.fl., 2001).

I den här studien användes biogödsel från Scandinavian Biogas och bevattning av lysimetrar för att undersöka om spridning av rötresten på åkermark innebär en risk för stort fosfor- och kväveläckage. Biogödseln bestod av rötat matavfall. Matjordslysimetrar utsattes för fem bevattningscykler som genererade avrinning efter tillsats av biogödsel (rötat matavfall), mineralgödsel (monoammoniumfosfat), tillsammans med ogödslade kontroller. Regnintensitet och mängd gödselmedel valdes så att de skulle motsvara mycket hög nederbördsintensitet till den maximalt rekommenderade givan av rötslam.

## 2. MATERIAL OCH METODER

### 2.1. Försöksplats och insamling av jordkolonner

I december 2016 insamlades matjordskolonner (skiktet 0-20 cm) från en gräsbevuxen plats nära en mätstation för ett fältförsök (rutförsök) som ligger vid Talby, Bornsjön. Eftersom strukturkalk potentiellt kan påverka utlakningen av biogödsel (rötresten) i jordprofilen, ansågs det nödvändigt att undvika strukturkalkad jord som numera dominerar i Bornsjöområdet. Uttagningen av kolonnerna för lysimeterförsöket gjordes genom att pressa ner PVC-rör (20 cm långa, 20 cm diameter) i marken med skopan på en traktorgrävare med hjälp av personal från Stockholm Vatten och Avfall. Växterna skrapades bort ytligt och avståndet mellan lysimetrarna var ungefär 40 cm. Efter uttagning i fält transporterades lysimetrarna till SLU i Uppsala där de förvarades inneslutna i plast i kylrum (4°C) till dess bevattningsstudien startade (2017-05-09). Matjordens kemiska och fysikaliska egenskaper (Tabell 1) är baserade på jordprover insamlade under hösten 2009 (Andersson, 2016) från en punkt nära provplatsen för lysimetrarna. Halten P-AL på försöksområdet varierar dock (Ulén m.fl., 2018).

Tabell 1. Några kemiska och fysikaliska parametrar hos jorden (modifierad från Andersson, 2016)

Jord	Skikt	Textur	Lerhalt (%)	pH <sup>a</sup>	Olsen P <sup>b</sup> (mg kg <sup>-1</sup> )	P-AL (mg kg <sup>-1</sup> )
Bornsjön	Matjord	Ler	60	6,1	17,3	38
	Alv	Ler	57	6,1	10,1	17

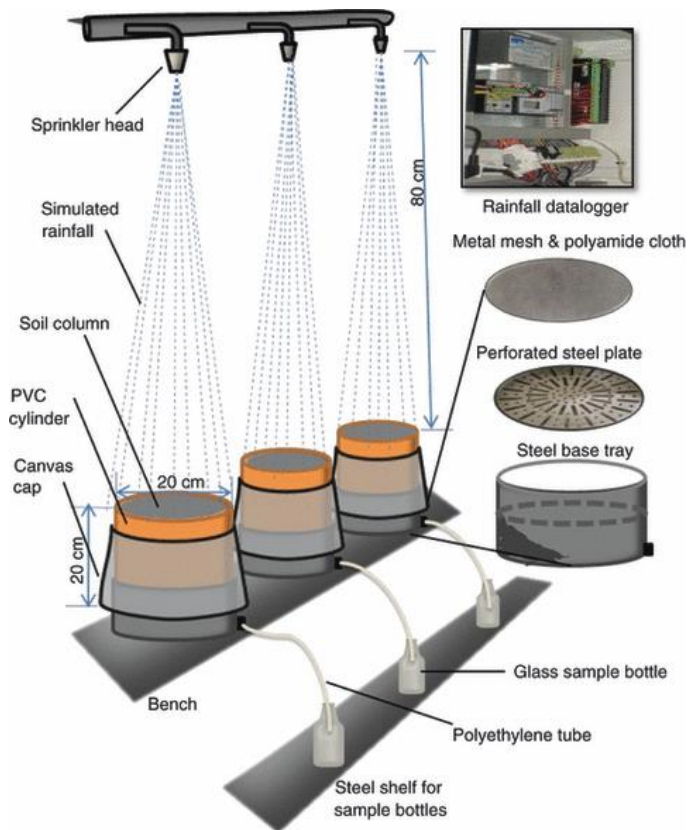
<sup>a</sup> pH mättes i vatten vilket generellt ger betydligt högre värden än då pH mäts i t ex KCL eller  $\text{CaCl}_2$

<sup>b</sup> En metod för att extrahera växttillgänglig fosfor med  $\text{NaHCO}_3$  vid pH 8,5 (Olsen och Sommer, 1982)

Studien fokuserade på utlakning av fosfor. Mängd inblandad mineralgödsel och avvattnade rötresten motsvarade en fosfortillförsel av 22 kg/ha. Detta är den maximalt tillåtna givan för jordar med normal fosforbortförsel via grödan och med medelmåttlig P-AL-klass (III) enligt Naturvårdsverkets föreskrifter (SNFS 1994:2). Området där lysimetrarna togs ut hade P-AL-klass II men ligger nära gränsen för klass III och fosfortalet varierar rumsligt över det aktuella fältet (Ulén m.fl., 2018). Mängden kväve som tillfördes med mineralgödsel var 10 kg/ha och med biogödsel 111 kg/ha. Kvoten N:P i de tillförda gödselmedlen motsvarade 0,5 för mineralgödseln och 5,0 för rötresterna.

## 2.2. Utlakningsexperiment

En specialbyggd bevattningsvagn för matjordslysimetrar användes. Från en tank med artificiellt regnvatten pumpas vatten till fördelningsdysor som simulerar regn genom att sprida fina vattendroppar ca 0,8m ovanför jordytan i lysimetern. Bevattningsvagnen kan styras med olika vattentryck och dysorna kalibreras innan start av experimentet för att få en så jämn bevattningsmängd som möjligt av alla kolonnerna. En schematisk uppställning av bevattningssystemet visas i Figur 1.



Figur1. Schematisk bild av bevattningsvagnen (Liu et al., 2012b).

Före bevattning preparerades lysimetrarna i botten med ett tunt lager av sand för att skydda jordprofilens porer mot kompaktering och förorening samt förbättra kontakten mellan profilen och underlaget. För att se till att jorden i lysimetrarna hade så lika vattenhalt som möjligt vid försökets början vattenmätades de genom att placeras i hinkar fyllda med vatten under 48 timmar. Lysimetrarna fick sedan dränera fritt under ett dygn för att nå en vattenhalt motsvarande fältkapacitet. Ett inledande test med bevattning av sex lysimetrar med inblandning av två olika rötrestfraktioner, våt rötrest (3st) och avvattnad rötrest (3st) i de översta 3 centimetrarna gjordes samtidigt som bevattningsvagnen kalibrerades. I de lysimetrar som behandlats med våta rötrest blev det ingen infiltration utan vattnet blev stående på jordytan i kolonnen. Antagligen slammades alla makroporer igen. Endast den avvattnade rötresten användes därför i de fortsatta studierna. Försöket hade tre försöksled: en behandling med biogödsel (avvattnade rötrest från Scandinavian Biogas, 5 upprepningar), en med mineralgödsel i form av upplöst mono-ammoniumfosfat (MAP,  $(\text{NH}_4)\text{H}_2\text{PO}_4$ ), 3 upprepningar) och en kontroll utan någon tillsats (3 upprepningar). Det tillsatta gödslingsmedlet blandades noggrant in i de övre tre centimetrarna av jordprofilen med en sked. Även i kontrollledet omblandades de övre tre centimetrar på samma sätt. Lysimetrarna bevattades med artificiellt regn. Detta bestod av avjonat vatten med tillsatts av  $0,6 \text{ mg NaCl l}^{-1}$ ,  $0,7 \text{ mg } (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \text{ l}^{-1}$ ,  $0,5 \text{ mg NaNO}_3 \text{ l}^{-1}$ ,  $0,6 \text{ mg CaCl}_2 \text{ l}^{-1}$  och (för att efterlikna pH i regnvatten)  $1,15 \times 10^{-5} \text{ mol HCl l}^{-1}$ . Bevattningen motsvarade en intensitet av 10 mm per timme och varade i två timmar. Detta upprepades vid fem tillfällen (regn 1-5). Totalt bevattnades de följaktligen med 100 mm under 10 timmar.

Bevattningsvagnen har plats för 10 lysimetrar, placeringen av lysimetrarna ändrades slumpmässigt mellan varje regntillfälle för att utjämna eventuella skillnader i bevattningsintensitet från de olika munstyckena i bevattningsvagnen. Varaktigheten av intensiteten 10 mm per timme valdes så att en mängd vatten motsvarande minst en porvolym skulle passera ner genom försöksjorden i kolonnen under experimentet. Porvolymen i liknande jord har uppskattats till 80mm (Liu et al., 2012b). Efter varje regntillfälle fick lysimetrarna stå och dränera fritt under 24 timmar, sedan mättes mängden avrunnet vatten från varje lysimeter och ett vattenprov togs.

Avrinnande vatten från lysimetrarna analyserades med följande fraktioner: total fosfor (TP), löst fosfor (DRP) och total kväve (TN). Partikulärt bunden fosfor (PP) uppskattades genom subtraktion av DRP från TP. Jord och rötrestanalyserna utfördes av Markkemiska laboratoriet, institutionen för Mark och Miljö, SLU, medan vattenanalyserna utfördes av Geokemiska laboratoriet, institutionen för Vatten och Miljö, SLU. Biogödselns kemiska sammansättning finns redovisad i Tabell 2.

Tabell 2. Torrsvikt och kemisk sammansättning baserad på torrsvikten (TS) i våta och avvattnade rötrester från Scandinavian Biogas (hösten 2016).

Rötrest-fraktion	Torrsvikt (%)	Tot N (% av TS)
avvattnad	26,1	6,0
våt	3,5	5,4

Rötrest-fraktion	P	Ca	Mg	Fe	K	Na	Mn	Al	Cu	Zn	B	S
	(g/kgTS)											
Avvattnad	11,9	38,9	1,5	14,6	5,5	2,6	0,2	1,2	0,0	0,1	9,0	13,7
Våt	10,1	41,4	3,7	12,2	38,3	21,7	0,2	1,2	0,0	0,1	22,1	9,9

Rötrest-fraktion	K-AL*	P-AL*	Na-AL*	Ca-AL*	Mg-AL*
	(mg 100g <sup>-1</sup> )				
Avvattnad	516	262	322	3136	143
Våt	4752	344	3204	4059	423

\*AL innebär extraherat med ammoniumlaktat.

### 3. RESULTAT OCH DISKUSSION

#### 3.1. Avrinning

De olika behandlingarna (biogödsel, mineralgödsel, kontroll) hade ingen inverkan på avrunnen mängd vatten: mellan 2393 och 2442ml, vilket motsvarar 76-78mm nederbörd (Tabell 3). Den teoretiska porvolymen på 80mm hade därmed så gott som passerat jordprofilen (0-20cm).

Tabell 3. Medelvärde och summa av avrinning för varje regntillfälle i ml ( $\pm$  standardavvikelse) från lysimetrar med de olika behandlingarna (biogödsel, mineralgödsel och kontroll).

Regntillfälle	Avvattnad rötrest (n=5)	Mineralgödsel (n=3)	Kontroll (n=3)
1	456 $\pm$ 91	500 $\pm$ 34	487 $\pm$ 58
2	475 $\pm$ 68	449 $\pm$ 45	464 $\pm$ 31
3	496 $\pm$ 39	463 $\pm$ 82	463 $\pm$ 54
4	474 $\pm$ 42	455 $\pm$ 40	523 $\pm$ 52
5	492 $\pm$ 49	530 $\pm$ 62	505 $\pm$ 43
Summa (ml)	2393 $\pm$ 140	2397 $\pm$ 109	2442 $\pm$ 124
Summa (mm)	76,2 $\pm$ 4,5	76,3 $\pm$ 3,5	77,8 $\pm$ 4,3

På grund av heterogeniteten hos den undersökta lerjorden, med olika porstorlekar anordnade i en komplex markstruktur (Hellner m.fl., 2018), är det dock inte säkert att vattnet passerat alla porer. En stor del av jordens mindre porer kan på kort sikt ha varit utan utbyte med genomrinnande vatten. De större makroporerna bör däremot effektivt ha genomströmmats av lakvatten. Detta innebär att material som sprids på markytan och blandas in i de översta centimetrarna löper stor risk att lakas genom profilen genom makroporflöde. Fler lysimetrar togs ut än som slutligen kunde användas i försöket. Några fick tas bort initialt då de inte genererade någon avrinning, och detta beror troligen på den typ av lerjord som finns runt Bornsjön samt att jorden som togs ut inte varit bearbetad utan kunde varit alltför kompakt.

#### 3.2. Utlakning av fosfor och kväve

Utlakningen av totalfosfor (TP) var högst från de mineralgödslade lysimetrarna, följt av de som fått avvattnad rötrest och lägst från kontrollerdet (Figur 2, Tabell 4). En stor del av skillnaden mellan de gödslade leden berodde på en omfattande utlakning av löst fosfor (DRP) från mineralgödslade lysimetrar efter den första bevattningen (Tabell 4). Läckaget i form av löst fosfor från mineralgödseln (5,5 kg/ha) motsvarade  $\sim$ 90% av totalfosfor efter första regntillfället. Löst fosfor från den avvattnade rötresten (0,03 kg/ha) motsvarade  $\sim$ 10% av totalfosfor. Vid de påföljande bevattningarna var skillnaderna inte statistiskt säkra.

Det som lakas ut från kontrollerna kan anses komma från jorden och den större mängden i de andra leden är bidrag från respektive gödselmedel. Det är en försumbar del av fosforförrådet som finns i marken som lakas ut, den har dock ändå stor betydelse för påverkan på miljön. Fosfor från mineralgödsel i löst form (DRP) är direkt växttillgänglig för såväl grödan som vattenlevande plankton och bakterier medan den organiska fosfor från biogödsel måste brytas ned innan den blir växttillgänglig.

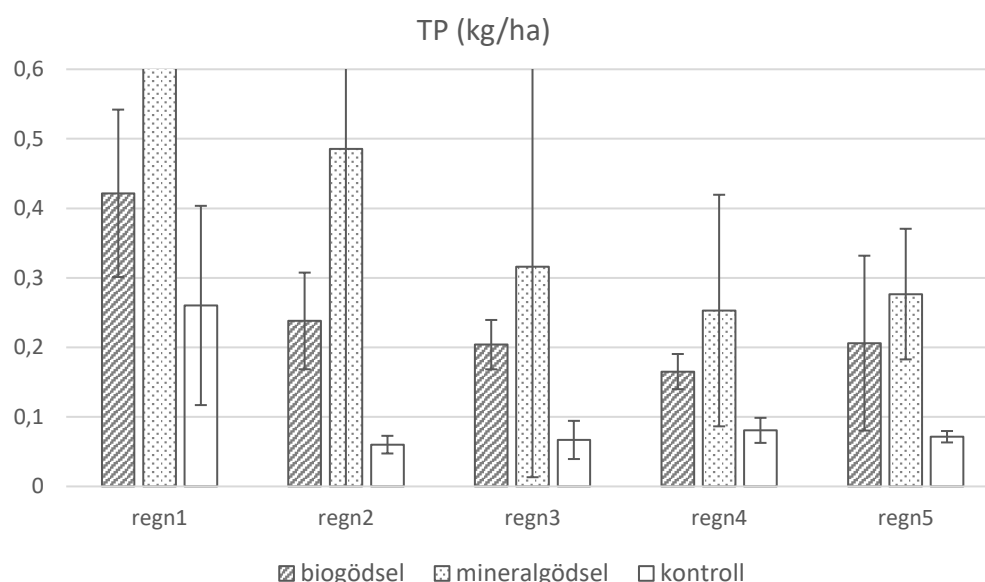


Tabell 4. Medelutlakning (med standardavvikelser) av totalfosfor (TP) med två fosforfraktioner (DRP och PP) och av totalkväve (TN) från gödslade (biogödsel och mineralgödsel) samt ogödslade kontroller efter fem simulerade regntillfällen.

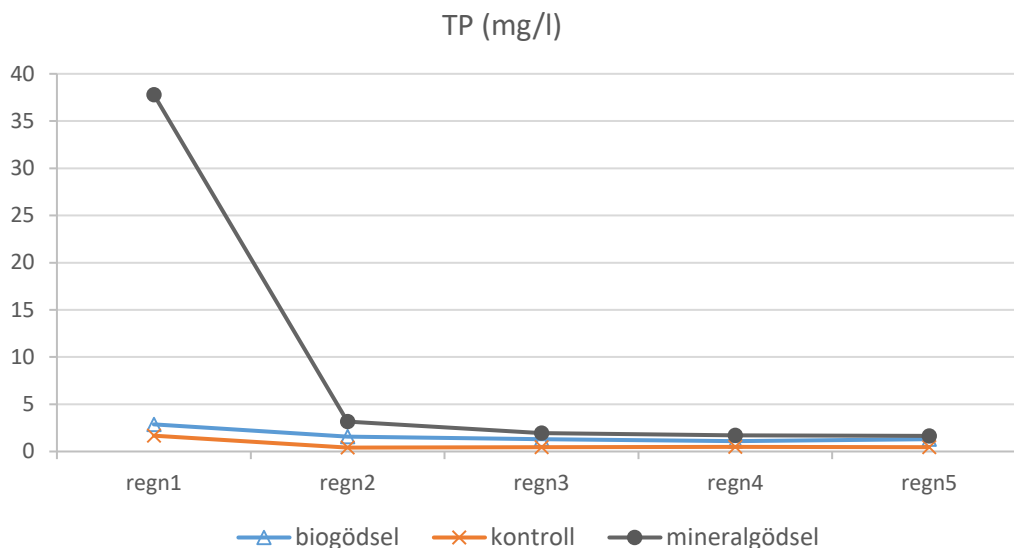
Regntillfälle		TP <sup>a</sup>	DRP <sup>a</sup>			PP <sup>a</sup>		TN <sup>a</sup>		
		----- (kg/ha) -----								
1	Biogödsel	0,42* ± 0,12	0,03* ± 0,03	0,39 ± 0,12	3,84* ± 1,16					
1	Mineralgödsel	5,97 ± 0,97	5,46 ± 0,89	0,51 ± 0,16	1,89 ± 0,60					
1	Kontroll	0,26 ± 0,14	0,01 ± 0,00	0,25 ± 0,14	1,01 ± 0,48					
2	Biogödsel	0,24 ± 0,07	0,05 ± 0,02	0,19 ± 0,07	2,6 ± 0,30					
2	Mineralgödsel	0,49 ± 0,57	0,36 ± 0,42	0,12 ± 0,15	1,93 ± 0,97					
2	Kontroll	0,06 ± 0,01	0,01 ± 0,00	0,05 ± 0,01	0,36 ± 0,04					
3	Biogödsel	0,20 ± 0,04	0,04 ± 0,02	0,16 ± 0,04	2,23 ± 0,49					
3	Mineralgödsel	0,32 ± 0,30	0,19 ± 0,16	0,12 ± 0,14	1,33 ± 0,44					
3	Kontroll	0,07 ± 0,03	0,01 ± 0,00	0,06 ± 0,03	0,3 ± 0,09					
4	Biogödsel	0,17 ± 0,03	0,03 ± 0,02	0,13 ± 0,03	2,04 ± 0,66					
4	Mineralgödsel	0,25 ± 0,17	0,15 ± 0,08	0,11 ± 0,09	0,95 ± 0,36					
4	Kontroll	0,08 ± 0,02	0,01 ± 0,00	0,07 ± 0,02	0,32 ± 0,02					
5	Biogödsel	0,21 ± 0,13	0,04 ± 0,02	0,17 ± 0,13	1,98 ± 1,09					
5	Mineralgödsel	0,28 ± 0,09	0,13 ± 0,06	0,15 ± 0,05	0,55 ± 0,54					
5	Kontroll	0,07 ± 0,01	0,01 ± 0,00	0,07 ± 0,01	0,08 ± 0,01					
Totalt	Biogödsel	1,24* ± 0,19	0,19* ± 0,04	1,04 ± 0,2	12,69* ± 1,82					
Totalt	Mineralgödsel	7,31 ± 1,18	6,29 ± 0,10	1,01 ± 0,28	6,65 ± 1,38					
Totalt	Kontroll	0,54 ± 0,15	0,05 ± 0,003	0,5 ± 0,15	2,07 ± 0,49					

<sup>a</sup> TP-total fosfor, DRP- löst fosfor, PP- partikulär fosfor, TN- total kväve

\*signifikant ( $p < 0,05$ ) skillnad mellan jord som gödslats med biogödsel och mineralgödsel



Figur 2. Utlakning av total fosfor (TP) från matjordslysimetrar efter inblandning med biogödsel och mineralgödsel och vid fem på varandra följande regntillfällen. Värdet för mineralgödslade lysimetrar vid första regntillfället var i medeltal 6,0 kg TP/ha och med stor variation.

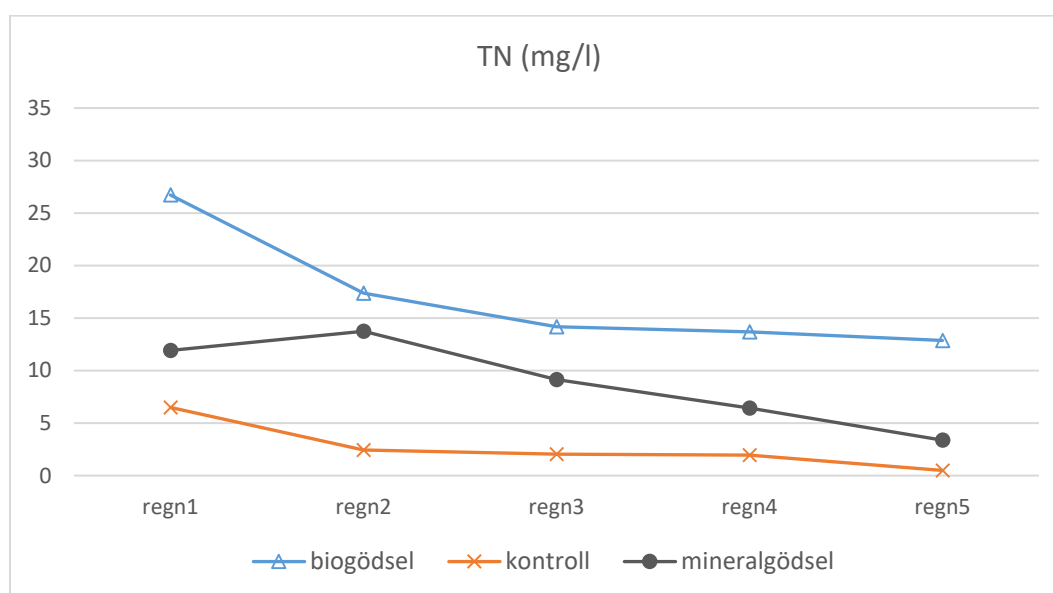


Figur 3. Medelvärde av koncentration totalfosfor från matjordslysimetrar som behandlats med biogödsel (n=5) och mineralgödsel (n=3), samt en kontrollgrupp (n=3) vid fem på varandra följande regntillfällen.

Lakvatten från gödslade lysimetrar, både de som fått mineral- och biogödsel, hade en tendens till avtagande fosforhalter efter varje bevattning (Figur 3). Den stora variabiliteten vid utlakning från mineralgödsel är svårklarad, även om andra studier med lerjordslysimetrar har gett stor spridning i fosforutlakning mellan upprepningar (Liu m.fl., 2012a). Lysimetrarna kan innehålla olika stora makroporer vilka påverkar hastigheten av utlakningen nämnvärt. Platsen där kolonner togs ut kan liknas vid den långliggande träda där det kan utvecklas djupa porer genom rötternas påverkan (Hellner m.fl., 2018).

Den totalt utlakade mängden totalfosfor (TP) från de olika försöksleden var: 1,24 (biogödsel), 7,31 (mineralgödsel) och 0,54 (kontroll) kg/ha (Tabell 4), vilket motsvarade 6% av tillsatsen med avvattnad rötrest respektive 33% av tillsatsen med mineralgödsel. Den utlakade fosfor i det mineralgödselade ledet var framför allt i löst form (DRP), medan partikulär fosfor dominerade i lakvatten både från biogödselade lysimetrar och kontrolleret. Den lösta fosfor är direkt biotillgänglig och bidrar därmed på kort sikt till eutrofiering av sjöar och vattendrag. Att löst fosfor dominerade i lakvatten från mineralgödselade beror på att mono-ammoniumfosfat är lösligt och lättlösligt innan fosfaterna har hunnit bindas till markpartiklar. Utlakningen av löst fosfor blev därmed stor vid det första bevattningstillfället, trots att gödseln myllades ned efter spridning. Det har visat sig att nedmyllning av gödsel påtagligt minskar utlakning av fosfor. I en liknande studie visade Liu m.fl. (2012a) att nedmyllning av stallgödsel i den översta centimetern av jordprofilen minskade fosforutlakningen med 50% jämfört med placering av gödseln på markytan. Vid användning av biogödsel under naturliga förhållanden på åkermark bör den följaktligen nedmyllas noggrant efter spridning för att minska risken för fosforförluster.

Utlakningen av kväve var högst från lysimetrarna som biogödslats och nådde 3,84 kg/ha efter den första bevattningen. Liksom var fallet för fosfor, minskade kväveutlakningen efter varje bevattning (Figur 4, Tabell 4). Den totala kväveutlakningen var 12,7 kg/ha från det biogödslade ledet och 6,6 kg/ha från det mineralgödslade. Den högre utlakningen från biogödslade lysimetrar berodde på att de påförts motsvarande 111 kg N/ha medan de som mineralgödslats fick en betydligt mindre mängd kväve (c:a 10 kg N/ha) i form av ammoniumfosfat med mineralgödselmedlet. De kvävemängder som tillfördes med det syntetiska regnvattnet var försumbart (c:a 1 kg/ha). Kväveutlakningen från avvattnad rötrest (biogödsel) motsvarade 11% och från mineralgödseln 66% av den tillsatta mängden. Kväveläckaget från biogödseln kan ha skett i mer organisk form än från mineralgödseln. Organiskt bundet kväve är generellt mindre tillgängligt för grödan än mineralkväve. Den avvattnade rötresten gav dock ett bra tillskott av kväve för många gröders behov (Börling m.fl., 2018) och gödsling med mineralkväve kan troligen minskas när man tillsätter rötrest.



Figur 4. Medelvärde av koncentration(mg/l) totalkväve från matjordslysimetrar som behandlats med biogödsel (n=5) och mineralgödsel (n=3), samt kontroller (n=3) vid fem på varandra följande regntillfällen.

Läckagesiffrorna i vår studie går inte att direkt jämföra med vad som blir det faktiska läckaget i Bornsjöområdet eller i andra fältstudier. I den här studien forcerades utlakningen genom att lysimetrarna bevattades intensivt och studien gjordes endast på matjorden, de översta 20 cm av jordprofilen. Under fältförhållanden är det många olika biologiska och fysikaliska processer inblandade i omsättningen av fosfor och kväve (växtupptag, mikrobiell aktivitet, diffusion m.m.). Man kan dock konstatera att fosforläckaget från lysimetrarna var av samma storleksordning som uppmätts från försöksrutor och observationsfält i närområdet vilket är omkring 1 kg/ha och år, dock lite läckage av fosfor i löst reaktiv form (Ulén m.fl., 2018). Kväveläckaget var förhållandevis lågt från lysimetrarna, vilket beror på att dessa inte kvävegödslades. Fosforläckaget (1,24 kg/ha) från den avvattnade rötresten är något högre än vad som uppmäts vid mätningar gjorda från lerjordsfält inom miljöövervakning där långtidsmedelvärdet ligger mellan 0,2-1,2 kg P/ha. Kväveläckaget (12,7 kg/ha) från avvattnad rötrest ligger i den nedre delen av intervallet för långtidsmedelvärdet som för kväveläckage från lerjord under fältförhållanden ligger mellan 11,2-23,3 kg N/ha (Linefur m.fl., 2017). Effekter av näringsläckage efter påförelse av biogödsel behöver undersökas vidare i fältförsök där man även kan kombinera med undersökningar av effekter på grödan.

#### 4. SLUTSATSER

Trots de extrema förhållanden som rådde i detta experiment med 20 cm djupa jordprofiler exponerade för mycket intensiv bevattning, blev utlakningsförlusterna av både fosfor och kväve från biogödseln inte speciellt förhöjda jämfört med kontrollerna. Vid spridning på åkermark och exponering mot naturliga väderförhållanden blir förlusterna antagligen avsevärt lägre. Pilotstudien visar följaktligen inte på någon förhöjd risk att sprida avvattnad biogödsel på en lerjord av den typ som användes i detta försök, om gödseln brukas ner noggrant. I jämförelse med användning av avvattnad rötrest och mineralgödsel i form av mono-ammoniumfosfat (MAP) är läckagerisken av löst fosfor på kort sikt sannolikt lägre för de avvattnade rötresterna.

Även om vi inte kunde studera de våta rötresten i detta försök så betyder inte det att dessa inte kan användas under andra mer naturliga förhållanden med regn av normal regnintensitet. Inblandning i jorden och kontakten med jordpartiklar kan dock försvåras om vattenhalten är för hög.

#### Erkännande

Studien har till största delen finansierats av Stockholm Vatten och Avfall. Tack till personal på Talby försöksgård, Stockholm Vatten och Avfall för hjälp med uttagande av lysimetrar. Olof Engle, student på agronomprogrammet, mark/växt, SLU utförde allt praktiskt arbete med bevattningsvagnen.

## REFERENSER

- Andersson, H., 2016. The role of subsoil properties for phosphorus leaching in agricultural soils. Doktorsavhandling, Acta Universitatis Agriculturae Sueciae No. 2016:9. Sveriges lantbruksuniversitet. Institutionen för mark och miljö.
- Börling, K., Hjelm, E., Kvarnmo, P., Listh U., Malgeryd, J., Stenberg, M., 2018. *Rekommendationer för Gödning och kalkning 2019*. Jordbruksverket. Jordbruksinformation 18 -2018. <https://webbutiken.jordbruksverket.se/sv/artiklar/jo1818.html> (besökt 2019-03-29)
- Djordjic, F., Bergström, L., Ulén, B. & Shirmohammadi, A. 1999. Mode of transport of surface applied P-33 through a clay and sandy soil. *J. Environ. Qual.* 28, 1272-1282.
- Hellner, Q., Koestel, J., Ulén, B., Larsbo, M. 2018. Effects of tillage and liming on macro-pore networks derived from X-ray tomography images of a silty clay soil. *Soil Use and Management* 34: 197-205.
- Ippolito, J.A., Barbarick, K.A., Norvell, K.L. 2007. Biosolids impact soil phosphorus accountability, fractionation and environmental risk. *Journal of Environmental Quality* 36, 764-772.
- Linefur, Helena and Stjernman Forsberg, Lovisa and Johansson, Göran and Blomberg, Maria (2017). *Växtnäringsförluster från åkermark 2015/2016*. Institutionen för mark och miljö. Sveriges lantbruksuniversitet. Ekohydrologi 147.
- Liu, J., Aronsson, H., Bergström, L., Sharpley, A., 2012a. Phosphorus leaching from loamy sand and clay loam topsoils after application of pig slurry. SpringerPlus, Vol.1, 1.
- Liu, J., Aronsson, H., Ulén, B., Bergström, L., 2012b. Potential phosphorus leaching from sandy topsoils with different fertilizer histories before and after application of pig slurry: *Phosphorus leaching from sandy topsoils*. *Soil Use and Management* 28, 457–467. doi:10.1111/j.1475-2743.2012.00442.x
- Maguire, R.O., Sims, J.T., Dentel, S.K., Coale, F.J., Mah, J.T., 2001. Relationships between biosolids treatment process and soil phosphorus availability. *Journal of Environmental Quality* 30, 1023–1033.
- Naturvårdsverket. Kungörelse SNFS (1994:2) med föreskrifter om skydd för miljön, särskilt marken, när avloppsslam används i jordbruket. <https://www.naturvardsverket.se/Documents/foreskrifter/nfs1994/snfs-1994-2.pdf> (besökt 2019-03-29)
- Olsen, S.R och Sommers L.E. (1982) Phosphorus. In: A.L., Page m.fl., editors, *Methods of soil analysis*. Part 2. 2nd edition. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI. sid. 403-430.
- Ulén, B., Persson, K., 1999. Field-scale phosphorus losses from a drained clay soil in Sweden. *Hydrological Processes* 13, 2801-2812.
- Ulén, B., Stenberg, M., Wesström, I. 2016. Use of a flashiness index to predict phosphorus losses from subsurface drains on a Swedish farm with clay soils. *Journal of Hydrology* 533, 581-590
- Ulén, B., Larsbo, M., Koestel, J., Hellner, Q., Blomberg, M. & Geranmayeh, P. 2018 Assessing strategies to mitigate phosphorus leaching from drained clay soils. *Ambio* 47: 114-123. *Ambio* 47: 114-123.
- Withers, P.J.A., Ulén, B., Stamm, C., Bechmann, M., 2003. Incidental phosphorus losses– are they significant and can they be predicted? *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 166, 459–468. doi:10.1002/jpln.200321165