

UNITED  
BY OUR  
DIFFERENCE




# RAPPORT

Förekomst av föroreningar i olika avlopp- och avfallsfraktioner som är relevanta för fosforåterföring

2013-02-15

Upprättad av: Sofia Frankki, John Sternbeck  
Granskad: John Sternbeck

Uppdragsnr: 10170845	Föreningar i olika fosforfraktioner	
Daterad: 2013-02-15		

## RAPPORT

# Förekomst av föreningar i olika avlopp- och avfallsfraktioner som är relevanta för fosforåterföring

## Kund

Naturvårdsverket  
106 48 Stockholm  
Avtal 219 1211

## Konsult

WSP Environmental  
121 88 Stockholm-Globen  
Besök: Arenavägen 7  
Tel: +46 8 688 60 00  
Fax: +46 8 688 69 22  
WSP Environment & Energy Sweden  
Org nr: 556057-4880  
Styrelsens säte: Stockholm  
[www.wspgroup.se](http://www.wspgroup.se)

## Kontaktpersoner

Uppdragsansvarig: John Sternbeck, 08-688 6319, [john.sternbeck@wspgroup.se](mailto:john.sternbeck@wspgroup.se)  
Ombud: Marie Arnér, 08-688 6403

## Sammanfattning

I samhället genereras kontinuerligt olika material som genom sitt fosforinnehåll kan vara lämpat som gödning för åkermark eller i andra områden. Denna rapport presenterar en litteraturgenomgång av vilka oönskade ämnen som påträffats i slam, stallgödsel, livsmedelsavfall och andra komposterade eller rötade organiska avfall. Studien omfattar både metaller och organiska föreningar. Undersökningen utgör ett underlag till Naturvårdsverkets arbete med en förordning om fosforåterföring. Eftersom syftet är att jämföra olika fosforfraktioner med avseende på föreningar har alla data normaliserats mot sitt innehåll av fosfor.


Slam är den fraktion som överlägset är mest välstuderad av dessa fraktioner. Det finns flera tidigare sammanställningar av svenska slamdata, och det kan nämnas att ca 250 organiska föreningar påträffats i slam från Sverige. Många av dessa ämnen uppträder dock i låga halter. Flera metaller uppvisar långsiktigt avtagande halter i slam.

Dataunderlaget för alla fraktioner utom slam är mycket sparsamt. Särskilt gäller det för organiska ämnen. En litteraturstudie av detta slag innebär att resultat från olika studier jämförs. Strategi för provuttag, analysmetoder och analyskvalitet varierar mellan studierna och det medför en osäkerhet. Slutsatser och observationer bör därför betraktas med försiktighet. Tillgängliga studier tyder dock på att andra organiska fraktioner än slam också innehåller olika organiska föreningar.


Stallgödsel har i Sverige undersökts avseende metaller. Ett fåtal studier har också undersökt förekomst av läkemedel och hormoner i stallgödsel. I majoriteten av de undersökta proven kunde varken läkemedel eller hormoner detekteras. Internationellt sett är det dock välkänt att olika hormoner förekommer i stallgödsel. Det finns också några nordiska data som visar på förekomst av bl.a. ftalater i stallgödsel.

I humana prov på urin och fekalier har bl.a. metaller och läkemedel påträffats. Tillgängliga data indikerar att urin är avsevärt renare än slam med avseende på t.ex. kadmium och triclosan. Urin kan dock vara mer förorenat än slam när det gäller många läkemedel.

För övriga fraktioner såsom kompost och rötresten har både metaller och vissa organiska föreningar analyserats, men antalet studierna är få och representativiteten oklar. Ursprunget till kompost och rötresten kan variera eller vara blandat, vilket naturligtvis påverkar förekomsten av oönskade ämnen. I svenska röttningsanläggningar blandas ibland slam med t.ex. hushållsavfall eller matavfall. Tillgängliga haltdata tyder dock inte på att föroreningshalterna är försumbara.


Uppdragsnr: 10170845	Föroreningar i olika fosforfraktioner	
Daterad: 2013-02-15		

WSP bedömer inte att föreliggande underlag är tillräckligt för att fatta beslut om användning av t.ex. kompost eller rötresten från livsmedel och hushållsavfall bör omfattas av gränsvärden. Problemets storlek är helt enkelt inte tillräckligt väl belyst. Det är dock slående att slam inte självklart är den fraktion som uppvisar högst metallhalter, när data presenteras normaliserat mot fosforinnehåll. Exempelvis är Cd/P-kvoterna i flera fosforfraktioner i samma storleksordning som i slam, även om variationen inom respektive fraktioner förefaller vara stor. Även vissa organiska föroreningar, t.ex. ftalater, förekommer i ungefär samma halter i matavfall eller komposterat matavfall som i slam.

Uppdragsnr: 10170845	Föroreningar i olika fosforfraktioner	
Daterad: 2013-02-15		

## Innehåll

<b>1</b>	<b>Inledning</b>	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>Underlag och redovisning</b>	<b>7</b>
<b>3</b>	<b>Halter i olika fosforrika fraktioner</b>	<b>7</b>
3.1	Slam	7
3.2	Urin, fekalier och grävatten	13
3.3	Stallgödsel	15
3.4	Matavfall och slakteriavfall	18
3.5	Kompost	18
3.6	Rötrest bioavfall	19
<b>4</b>	<b>Jämförelse av föroreningar i olika fraktioner</b>	<b>21</b>
4.1	Metaller	21
4.2	Organiska ämnen	23
<b>5</b>	<b>Referenser</b>	<b>24</b>

Uppdragsnr: 10170845	Föroreningar i olika fosforfraktioner	
Daterad: 2013-02-15		


## 1 Inledning

I samhället genereras flera olika avfall som genom sitt innehåll av fosfor och andra näringsämnen lämpar sig för gödning av åkermark. På senare år har även frågan om skogsgödning aktualiserats. Den traditionella formen av näringsåterföring är bruket av stallgödsel. Slam från kommunala reningsverk har också använts främst på åkermark. Slamspridningen har medfört en intensiv debatt om risker med de föroreningar som ingår i slammets. Denna debatt förs såväl i Sverige som i flertalet länder där frågan är aktuell.

Som underlag till arbetet med en ny förordning som ska reglera användningen av olika fosforrika fraktioner presenteras här en sammanställning rörande förekomst av oönskade ämnen i olika avfall- och avloppsfraktioner. De fraktioner som omfattas är:

- slam från reningsverk
- urin och fekalier, humant
- stallgödsel från olika djurslag
- mat- och livsmedelsavfall
- slakteriavfall
- kompost och rötrest

I en annan rapport har "lågrisknivåer" för fosforrika fraktioner beräknats, antaget att fraktionerna används på jordbruksmark, skogsmark eller som växtetablerings-skikt (WSP, 2013-02-XX).

Uppdragsnr: 10170845	Föroreningar i olika fosforfraktioner	
Daterad: 2013-02-15		

## 2 Underlag och redovisning

Sökning sker i den öppna litteraturen samt genom kontakter med forskare inom området. Sammanställningen nyttjar också en omfattande litteratursökning som Naturvårdsverket genomfört. För att data ska vara relevanta för frågeställningen är det viktigt att fraktionernas ursprung är känt. Annan information som kan påverka representativiteten är antal prov, hur provurvalet genomfördes, när undersökningen utfördes mm. För slam är dataunderlaget omfattande varför vi utgår från två tidigare sammanställningar av svenska data (Sternbeck och Österås, 2010; Sternbeck m.fl., 2011).

För att kunna göra en jämförelse av olika fraktioner presenteras halter normaliserat mot fosforinnehållet. Därför är det väsentligt att dataunderlaget även innefattar fosfor. I många fall är detta ej fallet, t.ex. miljögifter i slam, och då tillämpas schablonvärden på fosforhalten. Använda schablonvärden ges i **Tabell 1**.

**Tabell 1. Schablonvärde på fosforinnehåll i olika fraktioner.**


Fraktion	P g/kg ts	Dataunderlag	Referens
Slam	28	Offentlig statistik från miljörapport	SCB 2012
Slam	28	viktat medelvärde	SCB 2012
Stallgödsel nöt	8	Medelvärde, korrigerat för ts=9,8%	Naturvårdsverket, 1999
Stallgödsel svin	21	medelvärde, korrigerat för TS=8,8%	Naturvårdsverket, 1999
Rötrest	12, 18	Två enskilda mätningar	RVF 2005:6
Rötrest	10,5	medelvärde, korrigerat för TS=3,8%	JTI, 2006
Kompost	3,7	Medelvärde från 5 anläggningar	Jönsson et al, 2005

## 3 Halter i olika fosforrika fraktioner

Redovisningen är indelad i olika fraktioner beroende på ursprung och behandlingsmetod. Indelningen är i vissa fall inte helt tydlig, beroende på svårigheter att avgränsa eller ottyldigheter i underlagsrapporterna.

### 3.1 Slam

Slam från kommunala reningsverk är troligen den matris som är mest studerad avseende miljöföroreningar i Sverige. Nationella gränsvärden för metaller samt branschens egna riktvärden för PAH, PCB och nonylfenol har medfört att dessa ämnen analyserats i slam från merparten av Sverige ca 500 kommunala reningsverk. Naturvårdsverket har sedan 2004 ett miljöövervakningsprogram där ett stort antal organiska föroreningar analyseras årligen i prov från sju reningsverk. Därutöver har många riktade insatser gjorts för olika ämnesgrupper.

Uppdragsnr: 10170845	Föreningar i olika fosforfraktioner	
Daterad: 2013-02-15		

## Metaller

Samlad statistik från miljörapporterna publiceras årligen av SCB (t.ex. SCB, 2012). Därutöver finns en enskild undersökning där 60 metaller analyserades i slam från 48 reningsverk (Naturvårdsverket 2001). Direkt från Svenskt Vatten har även data från de REVAQ-anslutna reningsverken för 2010 erhållits. Silver är en metall vars användning ökat snabbt under senare år och där miljöegenskaperna är relativt väl kända och omdebatterade. På önskemål från Naturvårdsverket presenteras även data för tenn. Samtliga metalldata presenteras i Tabell 2.

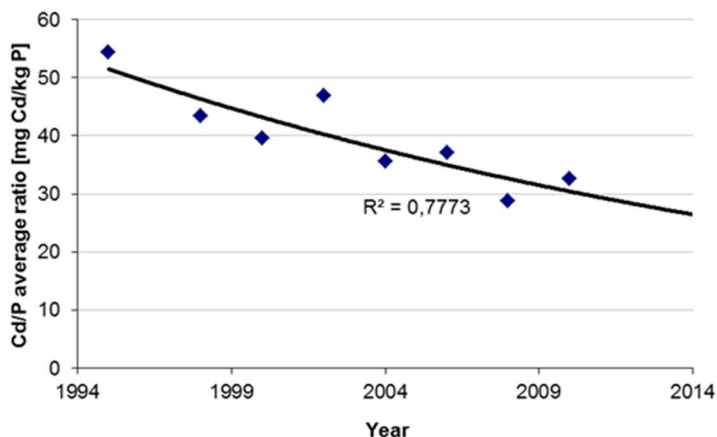
De fosfornormaliserade halterna är i stort sett genomgående högre i Naturvårdsverket (2001) än i SCBs data för 2010 och REVAQ-verkens data från 2010. Om SCBs data för 1998 används får man dock ett resultat som stämmer väl med Erikssons data (NV, 2001). Skillnaden torde alltså förklaras av att halterna av dessa metaller minskat under perioden 1998-2010. För silver finns även data från en screeningundersökning där medelhalten i de undersökta verkan var 475 mg/kg P (NVs screeningdatabas).

Data från REVAQ-verken är samtidigt med de från SCB och visar tydligt lägre halter av kadmium, men även av zink, nickel, bly och koppar. Som exempel på en mer kontinuerlig tidsserie visas hur kvoten av Cd/P varierat över tid i Sverige (Figur 1).

**Tabell 2. Metallhalter i slam, normaliserat mot fosforinnehåll (mg/kg P).**

Fraktion	Medel 2010	Medel 2010, REVAQ	Medel 2000
n	"allt"	26	47
Cd	32	25	44
Cr	1040	1071	1300
Cu	12400	11100	14000
Hg	21	19	40
Ni	590	510	720
Pb	750	610	1500
Zn	20400	17300	25000
Ag		73	330
Sn		468	870
Ref	SCB, 2012	REVAQ data 2010	NV 2001





Figur 1. Haltutvecklingen av Cd i svenskt slam, uttryckt som mg Cd per kg P. Källa: SCBs statistik.

### Organiska föroreningar exkl. läkemedel

Förekomsten av organiska föroreningar i slam från svenska reningsverk har sammanställts i två studier under senare år (Sternbeck och Österås 2010; Sternbeck m fl. 2011). Denna presentation utgår från de sammanställningarna men ger också en omräkning till fosfornormaliserade halter.

Totalt har fler än 250 organiska föroreningar påträffats i svenskt slam. Halterna varierar över många tiopotenser och det är ett mindre antal organiska föroreningar som uppträder i halter över 1 mg/kg ts, t.ex. LAS > DEHP > DINP > nonylfenol.


I denna översikt presenteras data för de organiska föroreningar som kan bedömas som prioriterade i samband med fosforåterföring. Vi använder då följande kriterier:

- Allmänt förekommande i slam, och
- Medelhalter > 1 mg/kg, eller
- Prioriterat utfasningsämne eller riskminskningsämne enligt PRIO-kriterierna (jfr. kriterierna i REVAQ), eller
- Svårnedbrytbart ämne, eller
- Prioriterat av NV

Därutöver ingår ett antal ämnen som preciserades av Naturvårdsverket inför detta uppdrag. Resultatet återges i Tabell 3.

### Läkemedel

Ett mycket stort antal läkemedel används och kunskapen om deras miljöeffekter är långt ifrån så väl etablerad som för många andra organiska föroreningar. I Sverige

Uppdragsnr: 10170845	Föroreningar i olika fosforfraktioner	
Daterad: 2013-02-15		

finns drygt 100 läkemedel analyserade i slam enligt Naturvårdsverkets screeningsdatabas. Totalt är det över 2300 analyser och detta utgör utgångspunkten för denna redovisning. För att prioritera bland dessa ämnen har vi valt följande kriterier:

- Medelhalter över 0,1 mg/kg ts, eller
- Potentiell persistens (Howard och Muir, 2011), eller
- Prioriterat av VKM (2009), eller
- Prioriterat av Eriksson et al. (2008).


Resultatet ges i Tabell 4 och underlagskriterierna beskrivs kortfattat nedan.

Halkriteriet i en första sällning sattes lägre än för övriga organiska föroreningar eftersom kunskapen om läkemedels miljöegenskaper allmänt sett är lägre än för många övriga organiska ämnen.

Persistens är en central fråga för den aktuella frågeställningen. Howard och Muir (2011) publicerade nyligen en QSAR-modellering av flera tusen läkemedel avseende bl.a. potential för persistens. De använde två Biowin-modeller för att bedöma potentiell persistens. Om båda modellerna indikerar persistens har vi i tabellen noterat ett "x". Om resultaten är motstridiga ges ett "?". För att begränsa sökningen har den avgränsats till de ämnen som är uppmätta i slam från Sverige och har en medelhalt på minst 0,1 mg/kg ts.


I Norge genomfördes en prioritering av de läkemedel som är avsedda för människa (VKM, 2009). Prioriteringen avsåg just miljörelevansen vid slamåterföring. Av totalt 1400 läkemedel prioriterades 14 ämnen. För vissa (6 st) av dessa finns svenska data i slam.

Slutligen har Eriksson m.fl. (2008) genomfört en screeningmässig prioritering av olika föroreningar i slam med avseende på potentiella risker vid slamåterföring på jordbruksmark. Bedömningen avser enbart risker för marklevande organismer och är tämligen konservativ. För de fem prioriterade läkemedlen var riskkvoterna  $\leq 0,2$ , enligt studiens relativt konservativa karakterisering.

Uppdragsnr: 10170845	Föroreningar i olika fosforfraktioner	
Daterad: 2013-02-15		

**Tabell 3.** Halter av prioriterade organiska föroreningar i slam. Data från NVs screeningdatabas, förutom PAH, PCB och nonylfenol som är från SCB (2010).

PARAMETER	antal prov	det.frek. %	medel, mg/kg P	halt > 1 mg/kg ts	Prio NV	utfasning	riskminskning	svärnedbrytbart
Linear alkyl benzene sulfonate (LAS), C10-14	24	100%	29 500	x				
Di-(2-etylhexyl)ftalat	47	100%	3080	x				
Long chain chlorinated paraffin	31	100%	2450	x				x
Nonylfenol			370	x	x			
4-nonylphenol-mono-ethoxylat	24	100%	570	x	x			
dekametylcyklopentasiloxan	60	98%	425	x		?		?
galaxolid	17	100%	375	x				P
medium chain chlorinated paraffin (C14-C17)	31	100%	160	x	x			x
short chain chlorinated paraffin (C10-C13)	37	97%	56	x	x	PBT vPvB		x
dodekametylcyklohexasiloxan	60	98%	55	x		?		misstänkt P
Tris(2-klorisopropyl)fosfat	48	100%	42	x				?
4-t-Oktylfenol	29	100%	32		x			
tonalid	17	100%	31					misstänkt P
dibutylftalat	31	45%	27					
PAH-6			34					
Bisfenol A			15		x			
oktametylcyklotetrasiloxan			12					?
dekabromdifenyleter (PBDE209)			9		x		Potentiella PBT/vPvB	x
penta BDE (47, 99 och 100)			7,0		x	PBT vPvB		x
dibutyltenn (DBT)			6		x			
PCB-7			1,4			Förbjudet		x
Perfluoroktansulfonat			1,0		x	PBT vPvB		x
HBCD			0,4		x	PBT vPvB		x
tributyltenn (TBT)			0,4		x	PBT vPvB		
Perfluordekansulfonat			0,2		x			?
Perfluoroktansyra			0,2		x			x
1,2,3,4,6,7,8,9-oktakilordibenzo-p-dioxin			0,030					x

Uppdragsnr: 10170845	Föreningar i olika fosforfraktioner	
Daterad: 2013-02-15		

**Tabell 4.** Halter av prioriterade läkemedel i slam. Data från NVs screeningdatabas.

Ämne	Antal prov	Det. frekvens %	medel, mg/kg ts	medel, mg/kg P	CV %	Prio i VKM	Medel > 1 mg/kg	Medel > 0,1 mg/kg	Prio i Eriksson et al 2008	Pers. enl. Howard och Muir, (2011)
Ciprofloxacin	63	100%	3,83	137	80%	1	1	1	1	x
Tetracycline	66	62%	1,72	61	305%	1	1	1		?
Dipyridamole	5	100%	1,26	45	128%	1	1	1		
Norfloxacin	63	83%	1,25	45	132%		1	1		x
Ketoconazole	16	100%	0,74	26	52%			1		x
Telmisartan	5	80%	0,44	16	128%			1		?
Ibuprofen	65	92%	0,42	15	653%			1	1	?
Erythromycin	5	80%	0,37	13	110%			1		x
Doxycycline	61	39%	0,36	13	341%			1		?
Miconazole	5	100%	0,26	9,4	41%			1		x
Sertraline	51	100%	0,26	9,3	134%			1		x
Ofloxacin	63	38%	0,26	9,1	175%			1		x
Naproxen	65	85%	0,25	9,0	688%			1		?
Metoprolol	5	100%	0,22	8,0	48%	1		1		?
Clotrimazol	5	100%	0,19	6,7	70%			1		x
Venlafaxine	5	100%	0,17	6,0	50%			1		x
Citalopram	40	100%	0,16	5,8	105%			1		x
Ethinylestradiol	65	11%	0,12	4,4	692%			1		x
Carbamazepine	20	100%	0,10	3,6	58%			1		x
Fexofenadine	5	100%	0,09	3,3	47%	1				
Atorvastatin	5	40%	0,04	1,6	62%	1				
Diclofenac	65	85%	0,03	1,1	217%				1	
Ranitidine	5	0%	0,00	0,1	0%	1				

### 3.2 Urin, fekalier och grävatten


Svenskt Vatten Utveckling har utfört en studie på spårämnen i klosettwater (innehållande urin, fekalier, toalettpapper etc.) från bostäder i 2 områden utanför Lund under 4 respektive 2 år (SVU, 2005:12). Halterna varierar stort mellan de olika proven och intervallet redovisas i **Tabell 5**. I en litteratursammanställning gjord av Jönsson m.fl. (2005) presenteras data på urin (7 studier), fekalier (3 studier) och grävatten (4 studier). Högsta och lägsta rapporterade resultat per studie anges i **Tabell 5**. Därtill anges också äldre data från en sammanställning som Naturvårdsverket (1995) gjort.

Metallhalterna varierar påtagligt mellan och inte minst inom de studier som sammanställts. Det finns en tendens att flera metaller uppvisar lägre metallhalter (P-normaliserat) i urin jämfört med fekalier eller grävatten, men att de två sistnämnda fraktionerna är relativt jämförbara vad gäller metaller. Detta konstaterades även av Palmqvist (2004) och beror på att fosfor tas upp av kroppen lättare än tungmetaller varvid kvoten i urin blir lägre och kvoten i fekalier blir högre.

**Tabell 5** Halt av metaller i human urin, fekalier och grävatten. Högsta och lägsta uppmätta halt från en studie (SVU 2005:12) samt lägsta och högsta medelhalt från en litteraturgenomgång (Jönsson m.fl. 2005). Enhet mg/kg P.

Fraktion	Klosettwater	Urin	Fekalier	Grävatten	Urin	Fekalier
n	7	7 studier	3 studier	4 studier	litteratur; 4-5 studier per metall	
Cd	7,7-27	0,3-2	20-23	13-22	1	20
Cr	38-2200	0,6-62	40-250	500-2270	10	40
Cu	2500-6860	68-9700	2200-4830	8200-26000	20	4000
Hg	1,3-16	0,6-3	13-126	2-5	3	126
Ni	135-378	7-194	40-328	1100-1890	-	400
Pb	29-519	15-63	40-2000	340-3180		60
Zn	9600-27800	45-1725	21600-67200	8600-29800	45	20000
Ag	1,2-139					
Sn	192-680					
Referens	SVU 2005:12	Jönsson et al. 2005		Naturvårdsverket 1995		

Vissa organiska föreningar kan också förväntas i såväl urin och fekalier som grävatten, t.ex. läkemedel, biocider och de POP-ämnena man exponeras för via livsmedel. I en avhandling från 2004 analyserades ett antal organiska föreningar i några få prov på grävatten (Palmqvist, 2004). Halter för ett urval av dessa föreningar presenteras i Tabell 6. Urvalet är gjort för att möjliggöra jämförelse med de föreningar som redovisas för slam (Tabell 3) samt sådana som uppvisar relativt höga halter i urin.

Uppdragsnr: 10170845	Föroreningar i fosforfraktioner	
Daterad: 2013-02-15		

Förekomst av läkemedel och andra toxiska substanser i urin är en aspekt som bör ingå vid utvärdering av urinseparering som metod för återföring av näringsämnen. Om alternativet till urinseparering är konventionell reningsteknik, så kan man i ett första steg jämföra föroreningsnivåer i urin och i slam. Eftersom gödsling av åkermark doseras efter innehållet av kväve eller fosfor bör man normalisera halter i urin och slam mot N eller P.


De data som presenteras på urin visar att urin är renare än slam när det gäller t.ex. kadmium och triklosan. För många läkemedel och hormoner gäller det omvända, halterna i urin är avsevärt högre än i slam. För läkemedel kan detta förklaras av att den huvudsakliga utsöndringen ofta sker via urin och att andra källor till deras förekomst i avloppsvattnet generellt är små. Det är möjligt att vissa läkemedel bryts ned under den lagring av urin som föregår eventuell användning på åkermark. De halter i urin som presenteras här är delvis från lagrad urin.

**Tabell 6.** Exempel på halter av organiska föroreningar i gråvatten. Data från Palmqvist (2004).

Ämne	Gråvatten, mg/kg P	Gråvatten, mg/kg P
Di-(2-etylhexyl)ftalat	2000	7700
Nonylfenol	101	500
4-nonylphenol-mono-ethoxylat		570
4-t-Oktylfenol	13	15
dibutylftalat	690	930
PAH-16		40
PAH-6	5	
dekabromdifenyleter (PBDE209)	<1,3	
penta BDE (47, 99 och 100)	0,3	56
dibutyltenn (DBT)	2,4	210
PCB-7	<1	
HBCD	<0,1	
tributyltenn (TBT)	1	33

**Tabell 7.** Exempel på halter av läkemedel samt bisfenol A i human urin.

Ämne	mg/kg P	Referens
Ibuprofen	1700	Winker m fl 2008, tyska data
Diklofenak	31	Winker m fl 2008, tyska data
Karbamazepin	160	Winker m fl 2008, tyska data
estron	7,7	VA forsk 2005-3
estradiol	5,2	VA forsk 2005-3
etinylestradiol	0,3	VA forsk 2005-3
triclosan	2,6	VA forsk 2005-3
bisfenol A	10	Lindh m fl

Uppdragsnr: 10170845	Föreningar i fosforfraktioner	
Daterad: 2013-02-15		

### 3.3 Stallgödsel

Halter av metaller i olika typer av stallgödsel från ko, svin och fjäderfä finns från ett fåtal studier i Norden. Tre svenska studier och en norsk studie har identifierats, medelhalter för respektive gödseltyp redovisas i tabell 2 (svinggödsel), tabell 3 (nöttgödsel) och tabell 4 (övriga gödseltyper). I flytgödsel ingår både fekalier och urin. Urin, separerat från fastgödsel, har endast analyserats i en studie, se nedan.

År 1999 presenterades en studie på flytgödsel, fast gödsel samt uringödsel från 108 gårdar från hela Sverige. Metaller analyserades i nötgödsel från ekologiskt odlade gårdar samt nötgödsel och svinggödsel från konventionellt odlade gårdar (Naturvårdsverket, 1999), se **Tabell 8**.

Svin- och nötflytgödsel har analyserats med avseende på näringsinnehåll och metaller i en studie 2006 (JTI, 2006) från 7 olika gårdar. Flyt- respektive fastgödsel från svin har även analyserats från fyra olika gårdar 2001 (Naturvårdsverket, 2001).

I en norsk studie (Bioforsk, 2012) har metaller mätts i gödsel från ko, svin och fjäderfä, totalt 38 prov (se **Tabell 8-10**).

Halterna varierar måttligt mellan de olika studierna. För vissa ämnen är halterna högre i svinggödsel än i nötgödsel och andra fall är det tvärtom. Zink (medelhalter ca 6-36 g/kg P) och därefter koppar (1-6,5 g/kg P) återfinns i högst halter, följt av krom och nickel (medelhalter ca 100 – 500 mg/kg P), bly (medelhalter 40-130 mg/kg P) och kadmium (medelhalter 5-35 mg/kg P).

Det finns få studier över organiska föreningar i stallgödsel. Tänkbara källor kan vara atmosfärsdeponerade föreningar via födan samt läkemedel. Dessutom innehåller stallgödsel naturliga och tillsatta hormoner från djuren (t.ex. Hansen m fl 2011). Spridning av hormoner från stallgödslade till fält till ytvatten har påvisats i flera studier (t.ex. Leet m fl 2012). Det är möjligt att förekomsten av hormoner är rikligare i stallgödsel än i slam, men en fördjupad utvärdering krävs för att belysa den frågan.

Vissa svenska undersökningar av organiska föreningar i stallgödsel har gjorts inom screeningverksamheten. Totalt har 70 olika ämnen analyserats i 4-6 prov på gödsel från svin, ko och hästgödsel, främst antibiotika och antiparasitära läkemedel. Av drygt 400 analyser kunde hormoner och vissa antibiotika detekteras ca 10 gånger (**Tabell 11**), medan övriga analyser gav resultat under rapporteringsgränsen. I en dansk studie presenteras medelhalter för stallgödsel från en grisgård (Petersen et al., 2003), med en fosforhalt om 2,4 %. Tillgängliga data presenteras i **Tabell 12**.

**Tabell 8** Medelhalter av metaller i svingödsel normaliserat mot fosforinnehåll (mg/kg P)

Fraktion	n	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	Ag	Sn	Ref
Svingödsel, fast	4	12	524	5380	0,9	290	95	32400	0,9	62	Naturvårdsverket 2001
Svingödsel, flytande	4	13	309	6770	0,4	205	54	26400	0,8	77	Naturvårdsverket 2001
Svingödsel, flytande	7	8	186	8000	-	129	43	29000			JTI 2006
Svingödsel	14	9,9	116	3500	-	162	-	23300			Bioforsk, 2012
Svingödsel, fast	13	14	324	6020		204	54	36600			Naturvårdsverket, 1999
Svingödsel, flytande	14	7	177	7670		138	41	27400			Naturvårdsverket, 1999
Urin, svin	11			240				1000			Naturvårdsverket, 1999
medelhalt svingödsel (±std.dev.)		11±3	270±150	6200±1600	0,7±0,4	190±60	57±22	29000±4700			

**Tabell 9** Medelhalter av metaller i nötgödsel (medelhalt, mg/kg P) från olika studier.

Fraktion	n	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	Ag	Sn	Ref
Nötgödsel, flytande	4	5	96	1000	0,6	192	41	6400	0,6	41	Naturvårdsverket 2001
Nötgödsel, flytande	7	15	289	4000	-	398	113	23000	-	-	JTI 2006
Nötgödsel	7	34	123	4400	-	490	-	21000	-	-	Bioforsk, 2012
Nötgödsel, fast	17	18	311	3400		333	77	19300			Naturvårdsverket 1999
Nötgödsel, flytande	15	17	303	6450		474	121	25000			Naturvårdsverket 1999
Nötgödsel fast, ekologiskt	23	16	475	3620		438	128	18500			Naturvårdsverket 1999
Nötgödsel, flytande, ekologiskt	26	14	231	4100		321	96	20000			Naturvårdsverket 1999
Urin, nöt	14			6000				27500			Naturvårdsverket 1999
Urin, nöt, ekologiskt	15			3000				18300			Naturvårdsverket 1999
medelhalt i nötgödsel (±std.dev.)		18±9	265±140	3800±1800		390±110	96±36	19000±6500			



**Tabell 10** Medelhalter av metaller i övriga gödseltyper (mg/kg P)

Fraktion	n	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	Ag	Sn	Ref
Får	3	9	54	1970	-	-	-	34800	-	-	Bioforsk, 2012
Fjäderfä	14	5	85	3450	-	200	-	19000	-	-	Bioforsk, 2012

**Tabell 11.** Svenska data över organiska föreningar i stallgödsel. En fosforhalt om 20 g/kg TS har antagits.

Ämne	antal prov	antal >det.gr.	halter (mg/kg P)
Estriol	4	1	<0,2-9
Ethinylestradiol	4	1	<0,2-4
Ketoprofen	4	1	<0,2-0,7
Norethindrone	4	2	<0,1-3
Oxytetracycline	9	3	<0,2-0,3
Progesterone	4	3	<0,1-10
Tetracycline	4	1	<0,2-20

**Tabell 12.** Danska data över organiska föreningar i stallgödsel.

	Stallgödsel gris		Referens
	mg/kg ts	mg/kg P	
PAH	0,51	23	Petersen et al. 2003
DEHP	0,4	18	Petersen et al. 2003
nonylfenol	<0,5	<23	Petersen et al. 2003
LAS	<10	<450	Petersen et al. 2003
DEHP	0,15	7	Laternus och Grön, 2007
DBP	0,15	7	Laternus och Grön, 2007
DOP	< r.gr.		Laternus och Grön, 2007

### 3.4 Matavfall och slakteriavfall

Med matavfall och slakteriavfall avses avfall från livsmedelsindustrier som inte genomgått någon behandling i form av kompostering eller rötning.

Inga studier har påträffats avseende föroreningsnivåer i obehandlat slakteriavfall. En litteraturgenomgång av metallhalter i komposterbart hushållsavfall (före kompostering) insamlat i olika bostadsområden, d.v.s. ej hos mottagningsanläggningar visar på mycket varierande halter (Jönsson m.fl., 2005, se Tabell 13).

**Tabell 13** Lägsta och högsta medelhalt från litteraturgenomgång av studier av metaller i komposterbart hushållsavfall, mg/kg P.

Fraktion	n	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	Ag	Sn	Ref
Komposterbart avfall	6 studier	25-48	1080-2900	2880-17200	4,4-6,8	380-1630	750-2260	7300-19300	-	-	Jönsson m.fl. 2005

### 3.5 Kompost

Med kompost avses komposterat material. I Sverige komposterades 2012 ca 77000 ton matavfall vid centrala anläggningar och 51 500 ton hemkomposterades vilket totalt är ca 13 % av matavfallet (Avfall Sverige 2012). Tre studier har identifierats som analyserat organiska ämnen i kompost och komposterat organiskt hushållsavfall. För jämförelse med andra fosforfraktioner har vi antagit att det komposterade materialet har ett fosforinnehåll på 1 % (att jämföra med rötrest 1,2 -1,8 %).

I kompost från norska och svenska anläggningar (5st) som tar emot avfall från hushåll uppblandat med främst flisat trä och storköksavfall (RVF 2005:12) rapporteras förekomst av ftalater (främst DEHP) > bisfenol A> PAH16> glyfosat > klorparaffiner > PBDE> HBCD.

Rapporten från RVF (2005:12) innehåller även norska och danska litteraturdata över några organiska föreningar på kompost och organiskt hushållsavfall från 9 anläggningar (från Paulsrud m.fl.1997 samt Kjöholt m.fl, 1998). Vi har räknat om halterna på fosforbasis med de schablonvärden som anges i Tabell 1. Medelhalter från dessa studier återges i Tabell 14.

**Tabell 14** Medelhalter från litteraturgenomgång av organiska föroreningar i komposterbart hushållsavfall, mg/kg P (dioxiner µg TEQ/kg P).

	<b>RVF 2005:12</b>	<b>Petersen 2003</b>	<b>Laturnus &amp; Grön 2007</b>	<b>Danska data re- fererade i RVF 2005:12</b>	<b>Norska data refererade i RVF 2005:12</b>
LAS	<500	<2700		3000	8300
DBP	<10		78		360
DEHP	590	4800	3200	3300	730
PAH-16	130	176			136
PAH-9	130			92	
PCB-7	<0,5				24
PCDD/F					0,44
Nonylfenol		730			
NPE				320	
BDE 47+99	0,96				
Klorparaffiner C10-13	2,9				


### 3.6 Rötrest bioavfall

Rötresten bildas vid rötning av bioavfall vid produktion av biogas. Avfallet kan ha sitt ursprung i livsmedelsindustrin, hushållsavfall, slakteriavfall eller stallgödsel (JTI 2006).

År 2011 behandlades 613 000 ton i 19 samröttningsanläggningar. Av detta utgjorde matavfall 22 %, slakteriavfall och verksamhetsslam 18 % och avfall från livsmedelsindustrin 10 %. Övriga ingående fraktioner redovisas inte bl.a. av konkurrensskäl (Statens Energimyndighet, 2012). Av rötresten från samröttningsanläggningarna användes år 2011 94 % som biogödsel inom jordbruket.

Vid rötning kan framförallt organiska ämnen påverkas av nedbrytningsprocesser alternativt bildas av liknande substanser. Metaller och svårnedbrytbara ämnen som t.ex. dioxiner och PCB kan ackumuleras då den totala massan minskar vid rötningen. Vid rötning kan avfall från många olika källor blandas, t.ex. livsmedelsavfall, hushållskompost och reningsverksslam, vilket gör eventuella mätresultat svårtolkade.

De olika ingående fraktionerna kan förväntas ha olika halter av föroreningar vilket påverkar halten i rötresten. Inga analyser på de olika ingående fraktionerna har identifierats. Mätningar av organiska föroreningar har identifierats i tre studier, en norsk och två svenska, varav metaller analyserats i två studier och organiska föroreningar i två av studierna. Se nedan.

Uppdragsnr: 10170845	Föreningar i fosforfraktioner	
Daterad: 2013-02-15		

Rötrest från slakteriavfall, stallgödsel, källsorterat livsmedelsavfall och grödor har analyserats med avseende på metaller i en studie (JTI 2006).

Prover på rötrest från två svenska rötningsanläggningar analyserades med avseende på organiska ämnen 2005 (RVF 2005:06). Det redovisas dock inte vilka anläggningarna proverna kommer ifrån eller exakt vilken typ av bioavfall som rötats mer än att det är pumpbart avfall. Detta utgörs till största delen av avloppsslam med mindre inslag av annat finfördelat material. I proverna påvisas metaller, nonylfenol och PAH (1 av 2 prov). PCB påvisas inte över rapporteringsgränsen <0,02 mg/kg TS. Normaliserat mot fosforhalten (1,8 respektive 1,2 %) är nonylfenolhalten 108 respektive 211 mg/kg P och halten PAH (ospecificerat vilka ingående PAH:er) 33 mg/kg P.

I bioest från rötning rapporteras från en norsk studie (refererad i RVF 2005:12) DEHP och NPE i både flytande och fast fraktion, DEHP 37-480 mg/kg TS och NPE 0,3-30 mg/kg TS (innehåll av P redovisas ej).

Av metallerna återfinns zink och koppar i högst halter av metaller, följt av krom och nickel, därefter bly och lägst halter av kadmium. Halterna ligger inom samma storleksordning inom de två studierna, och är dessutom ganska snarlikt halterna i avloppsslam.

**Tabell 15** Halter av metaller i rötrest (medelhalt), för RVF 2005:6 redovisas lägsta respektive högsta uppmätta halt, enhet mg/kg P.

Fraktion	n	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	Ag	Sn	Ref
Rötrest	7	27	923	12000	6	980	360	39000	-	-	JTI 2006
Rötrest	2	<11 - 23	780/ 1080	2900/ 9700	2/ <8	720/ 1000	167/ 250	23600/ 22600	<56	-	RVF 2005:6
Rötrest (biogödsel)	10	15	556	5300	3,1	570	200	18700			Henriksson m fl. 2012

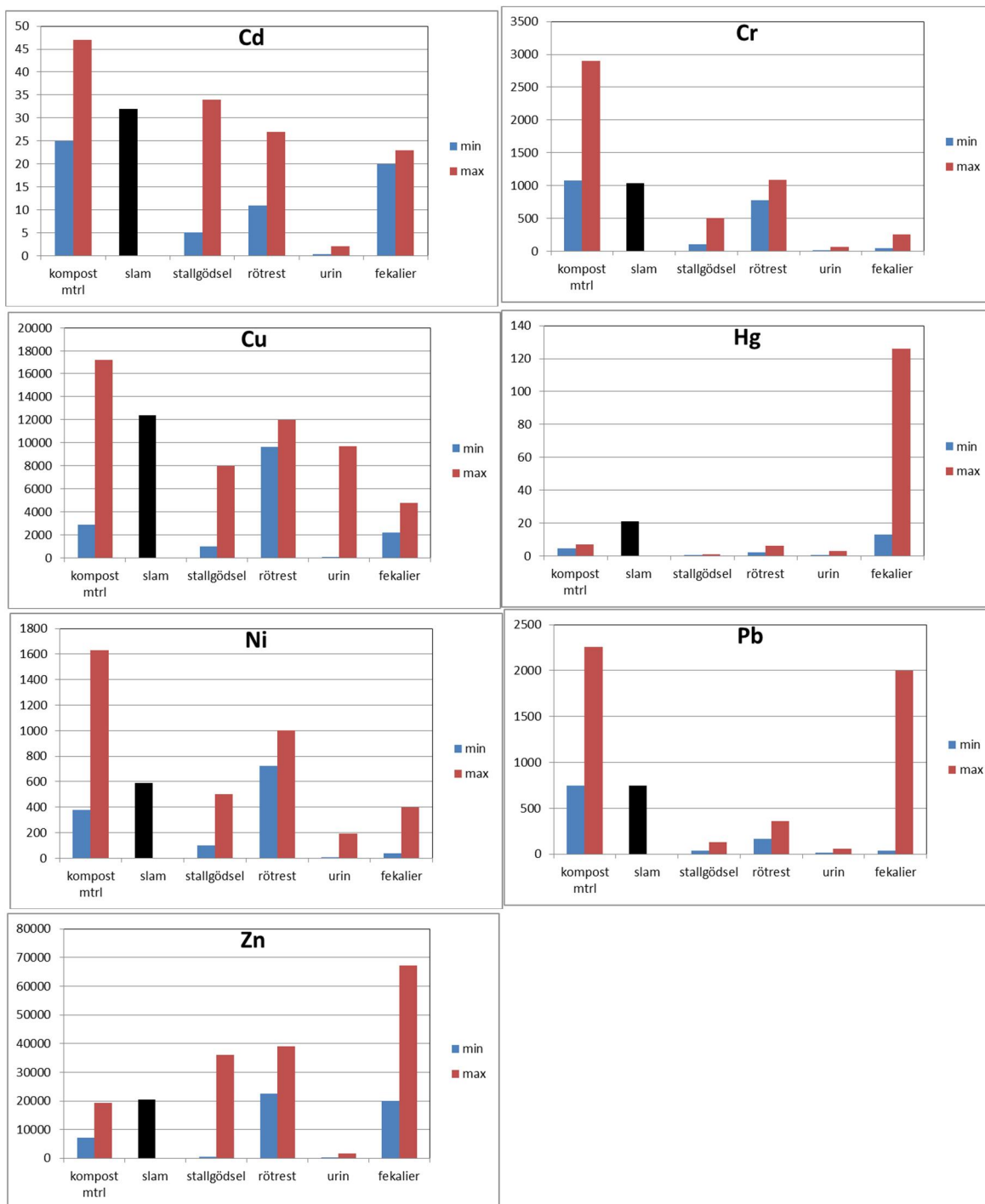
## 4 Jämförelse av föroreningar i olika fraktioner

### 4.1 Metaller

Metaller har analyserats i slam, olika typer av stallgödsel, kompost, rötrest urin och fekalier och jämförelser görs i **Figur 2**. Jämförelsen avser min- och maxhalter, men i flera fall är underlaget sparsamt. Jämförelsen bör därför ses som illustrativ och inte definitiv. För slamhalter redovisas medelhalter för år 2010 men inte min- och max, eftersom uppgifter om halter i enskilda verk saknas.

Halterna av respektive metaller är i samma storleksordning i samtliga fraktioner. Stallgödsel är den fraktion som uppvisar störst haltvariation för metaller. Urin har generellt låga halter jämfört med övriga fraktioner, se exempel kadmium (Figur 2). Kvicksilver förekommer i högst halter i fekalier och därefter slam (se **Figur 2**). Även bly förekommer i högst halter i fekalier och slam men även komposterbart material jämfört med övriga fraktioner. Kadmium är troligen den förorening som uppmärksammas mest i slamdebat-ten. De data som presenteras här tyder på att andra fosforfraktioner kan ha Cd/P-kvoter i samma nivå som slam.

Jämförelsen baseras på undersökningar som inte är samtidiga utan skiljer sig ca 10 år. Om det förekommer systematiska trender över tid kan det göra jämförelsen något vinklad. För flera metaller är det t.ex. känt att halter i slam minskat över tid. Det är dock såående att slam inte självklart är den fraktion som uppvisar högst metallhalter, när data presenteras normaliserat mot fosforinnehåll.



**Figur 2** Metallhalter normaliserat mot fosforhalt i olika fosforfraktioner. För information om respektive fraktion se text samt tabell 2,8,9,10,11,13 och 15. Blå stapel visar lägsta rapporterade medelhalt och röd stapel högsta rapporterade medelhalt. För slam ges medelhalt som svart stapel.

## 4.2 Organiska ämnen

Organiska ämnen har analyserats i slam, matavfall/kompost (3 studier) och rötrest (2 studier). Underlaget i andra fraktioner än slam är mycket begränsat varför jämförelse ska ses som indikativ. Dessutom rapporteras inte fosforhalten i en av studierna av rötrest och både komposten och rötresterna är sammanslagningar av flera olika ingående typer av bioavfall vilka skiljer sig både inom och mellan studierna.

I rötrest påvisas nonylfenol och PAH, DEHP och NPE (RVF 2005:6, RVF 2005:12). I studierna av kompost analyserades fler organiska ämnen och där påvisas ftalater, LAS, bisfenol A, PAH, glyfosat, klorparaffiner, dioxiner, PCB, PBDE och HBCD.

Jämförelsen visar att matavfall och "biorest" kan innehålla både ftalater och andra organiska föreningar i samma haltnivåer som slam gör. Detta kan tyckas något förvånande men beror delvis på att halterna här presenteras per fosforinnehåll; fosforinnehållet är lägre i matavfall än i slam vilket ger högre halter efter P-normalisering. Många av de studerade organiska föreningarna uppvisar dock i dessa exempel lägre halter i andra fraktioner än slam.


**Tabell 16. Sammanställning av organiska ämnen i olika fosforfraktioner. Enhet: mg/kg P.**

	Matavfall	Kompost matavfall		Biorest	Stallgödsel Svin		Slam, svenskt
	RVF 2005-12	Petersen 2003	Laternus & Grön 2007	RVF-2005-12	Petersen 2003	Laternus & Grön 2007	medelhalter
LAS	<500	<2700		<500	<450		29000
Triclosan	<10			<10			230
DBP	<10		78	200		7	27
DEHP	590	4800	3200	2900	18	7	3000
PAH-16	130	176		74	23		34
Nonylfenol		730			<23		370
Glyfosat	1,5			6,4			
HBCD	1,1			1,5			0,4
PCB-7	<0,5			<0,5			2,5
BDE-47+99	0,96			1,0			7
BDE-209	2,1			1,8			9
Klorparaffiner C10-C13	2,9			1,4			56

## 5 Referenser

- Amundsen, C. E., Hartnik, T., Linjordet, R. (1997) Forekomst og stabilitet av organiske miljøgifter i slamtilført jord. Rapport nr. 139/97, ISBN-nr. 82-7467-276-3, Jordforsk, Ås, Norge.
- Avfall Sverige 2012. Svensk avfallshantering (2012) Biologisk återvinning. S 21-23. Avfall Sverige, Malmö.
- Daugstad K., Øverli Kristoffersen A. och Nesheim L. (2012) Näringsinnehåll i husdyrgjødsel - Analyser av husdyrgjødsel frå storfe, sau, svin og fjørfe 2006-2011. Bioforsk Rapport 7 Nr. 24.
- EC (2001) Organic contaminants in sewage sludge for agricultural use.
- Eriksson E., Christensen N., Ejbye Schmidt J. och Ledin A (2008) Potential priority pollutants in sewage sludge. *Desalination* 226, 371–388.
- Eriksson J, Mattsson L. och Söderström M (2010) Tillståndet i svensk åkermark och gröda - Data från 2001-2007. Naturvårdsverket rapport 6349.
- Hansen M. m.fl (2011) Determination of ten steroid hormones in animal waste manure and agricultural soil using inverse and integrated clean-up pressurized liquid extraction and gas chromatography-tandem mass spectrometry. *Analytical Methods* 3, 1087-1095.
- Henriksson G., Palm O., Davidsson K., Ljung E. och Sager A. (2012) Rätt slam på rätt plats. Rapport 41. Waste refinery SP, Borås. ISSN 1654 – 4706.
- Howard P.H. och Muir D.C.G. (2011) Identifying new persistent and bioaccumulative organics among chemicals in commerce II: Pharmaceuticals. *Environ. Sci. Technol.* 45, 6938 – 6946.
- JTI (2006) Rötrest från biogasanläggningar – användning i lantbruket.
- Jönsson H., Baky A., Jeppson U., Hellström, D. och Kärman E. (2005) Composition of urine, faeces, greywater and biowaste for utilisation in the URWARE model Urban Water, Chalmers tekniska Universitet, Göteborg, Sverige, 2005.
- Kjølholt, J.; Thomsen, C.D. och Hansen, E. (1998) Cadmium og DEHP i kompost og bioafgasset materiale, Miljøprojekt nr. 385, Miljøstyrelsen, Danmark.
- Laternus F., von Arnold K., Grøn C. (2007) Organic Contaminants from Sewage Sludge Applied to Agricultural Soils. *Env. Sci. Pollut. Res.* 14, Special Issue 1, 53–60.
- Laternus F. och Grøn C. (2007) Organic waste products in agriculture – monitoring the waste constituents phthalate esters in soil-crop system by gas chromatography and ion trap tandem mass spectrometry. *J Environ. Eng. Landsc. Man.* XV, 253–260.
- Lindh C., Jönsson B., Berggren M. m.fl. Bisfenol A i urin från män och kvinnor i Norr- och Västerbotten.
- Naturvårdsverket (1995) Vad innehåller avloppsvatten från hushåll. Rapport 4425.



Uppdragsnr: 10170845	Föreningar i fosforfraktioner	
Daterad: 2013-02-15		

- Naturvårdsverket (1999) Stallgödselns innehåll av växtnäring och spårelement. Steineck, S., Gustafson, G., Andersson, A., Tersmeden, M. och Bergström, J. Naturvårdsverket, rapport 4974.
- Naturvårdsverket (2001) Halter av 61 spårelement i avloppsslam, stallgödsel, handelsgödsel, nederbörd samt i jord och gröda, Naturvårdsverket rapport 5148.
- Odlare, M. 2005. Organic Residues – a Resource for Arable Soils. Acta Universitatis Agriculturae Sueciae. Doktorsavhandling nr 2005:71. Sveriges lantbruksuniversitet.
- Palmqvist H (2004) Hazardous substances in wastewater management. Doktorsavhandling 2004:47, Luleå Tekniska Universitet.
- Paulsrud B., Wien A. och Nedland K.T. (1997) A survey of toxic organics in Norwegian sewage sludge, compost and manure. Vann 34(1999) nr 1)
- Petersen S.O., Henriksen K., Mortensen G. K. m fl (2003) Recycling of sewage sludge and household compost to arable land: fate and effects of organic contaminants, and impact on soil fertility Soil. & Tillage Research 72, 139-152.
- RVF Utveckling 2005 Organiske forurensninger i kompost og biorest, Rapport 2005:12
- RVF Utveckling 2005 Utvärdering av storskaliga system för kompostering och rötning av källsorterat bioavfall, Bilaga 1a: Teknisk utvärdering röttningsanläggningar. Rapport 2005:6.
- Statens energimyndighet 2012. Produktion och användning av biogas år 2011. ES 2012:08. ISSN 1654-7543.
- Sternbeck J. och Österås A.H. (2010) Miljöövervakning av miljögifter i urbana områden - sammanställning och analys. WSP rapport till Naturvårdsverket.
- Sternbeck J., Blytt L.D., Gustavson K., Frankki S. och Bjergström (2011) Using sludge on arable land – effect based levels and longterm accumulation for certain organic pollutants. Report to the Nordic Council of Ministers. TemaNord 2011:506.
- VKM (2009) Risk assessment of contaminants in sewage sludge applied on Norwegian soils 05/511-22-final VKM, Oslo, Norge.
- WSP (2013-02-15) Riskbedömning av fosforrika fraktioner vid återförsel till åker- och skogsmark samt vid anläggande av etableringsskikt. WSP rapport 10170845 till Naturvårdsverket.

Stockholm 2013-02-15

WSP Environmental

John Sternbeck