

# Marktäckande material som åtgärd för minskat fosforläckage från rasthagar för värphöns

*Ground-stabilising materials as a measure to reduce phosphorus leakage from paddocks for free range laying hens*

Ebba Hellstrand



Magisteruppsats i markvetenskap  
Agronomprogrammet – inriktning mark/växt

Examensarbeten, Institutionen för mark och miljö, SLU  
2019:03

Uppsala 2019



# Marktäckande material som åtgärd för minskat fosforläckage från rasthagar för värphöns

*Ground-stabilising materials as a measure to reduce phosphorus leakage from paddocks for free range laying hens*

## Ebba Hellstrand

**Handledare:** Helena Aronsson, institutionen för mark och miljö, SLU  
**Biträdande handledare:** Malin Lovang, Lovang lantbrukskonsult AB  
**Examinator:** Anna Mårtensson, institutionen för mark och miljö, SLU

**Omfattning:** 30 hp

**Nivå och fördjupning:** Avancerad nivå, A1E

**Kurstitel:** Självständigt arbete i markvetenskap - magisterarbete

**Kurskod:** EX0728

**Program/utbildning:** Agronomprogrammet inriktning mark/växt 270 hp

**Kursansvarig institution:** mark och miljö

**Utgivningsort:** Uppsala

**Utgivningsår:** 2019

**Omslagsbild:** Rasthagar med värphöns på Lövsta forskningsstation, foto Lotten Wahlund, 2018

**Serietitel:** Examensarbeten, Institutionen för mark och miljö, SLU

**Delnummer i serien:** 2019:03

**Elektronisk publicering:** <http://stud.epsilon.slu.se>

**Nyckelord:** utehöns, fosforbindningsförmåga, punktbelastning

## Sammanfattning

Fosforläckage från rasthagar med utehöns är idag dåligt undersökt och därför pågår det sedan 2016 ett pilotprojekt med forskare på Sveriges lantbruksuniversitet (SLU) tillsammans med Research Institutes of Sweden (RISE) samt rådgivare för att undersöka näringsbelastningen från utehöns. Mitt arbete har utförts inom detta projekt, där jag har valt att begränsa mig till fosforläckage eftersom det var huvudfokus för denna del av projektet. Arbetet kan sägas bestå av tre delar. Den första delen innehöll en litteraturstudie, där faktorer som behöver tas i beaktan för att bedöma risken för fosforläckage har undersökts. Den andra delen bestod av analys av två marktäckande materials förmåga att binda och hålla kvar fosfor från värphönsens gödsel. Den sista delen bestod av synoptisk provtagning och analys av dräneringsvatten på fyra ekologiska hönsgrårdar i Östergötland. Jag har i samtliga fall valt att fokusera på den mest belastade ytan i rasthagen, d.v.s. den ofta grusade ytan precis utanför stallet.

Två marktäckande materialen, sand och kalk jämförda med grus, spreds på ytan närmast stallet i rasthagar med värphöns på Lövsta forskningsstation. Efter att hönsen vistats i rasthagarna under en säsong togs prover av materialen som sedan bevattnades i en regnsimulator för att undersöka risken för fosforläckage. Utlakningsvattnet från materialen analyserades och resultatet tyder på att kalken och sanden har haft bättre kapacitet att hålla kvar fosfor när de låg ute i rasthagen jämfört med gruset. Det tycks framför allt vara ett fysiskt skydd snarare än ett kemiskt skydd som fördröjer utlakningen av fosfor, då sand och kalk var bättre på att hålla kvar fosfor jämfört med grus och ingen skillnad mellan sand och kalk förelåg.

Medelvärdet av koncentrationen fosfatfosfor i utlakningsvattnet var 58 mg/l för grus respektive 115 mg/l för kalk och 136 mg/l för sanden. Grusets lägre värde tolkades som att materialet förlorat fosfor redan under säsongen ute i rasthagarna.

Denna pilotstudie visar att fosforbelastningen från hönsrasthagar på vattenmiljön potentiellt är stor från ytan som ligger närmast stallet. Denna yta är en liten del av hela hagen och verkar utgöra en risk för punktbelastning av fosfor på vattenmiljön. Provtagning i dräneringsvatten ute på gårdar kommer att kunna ge svar på hur stort fosforläckaget är från denna yta. Utifrån detta bör det sedan gå att bedöma hur viktigt det är med åtgärder för att minska risken för påverkan på övergödning.

*Nyckelord:* Utehöns, fosforbindningsförmåga, punktbelastning

## Abstract

Today there is a knowledge gap about phosphorus leakage from free range laying hens, and because of that a pilot project is ongoing since 2016 with scientists at The University of Agricultural Sciences (SLU), Research Institutes of Sweden (RISE) and also advisors in order to investigate the nutrient load from free range laying hens. My thesis have been conducted within this project, and I have chosen to focus on phosphorus leakage. My thesis contains three sub studies. The first sub study consist of a literature study, where factors that need to be considered to assess the risk of phosphorus leakage were investigated. The second sub study included analyses of two ground-stabilising materials for paddocks with respect to phosphorus-binding capacity. The third sub study consisted of measuring the concentration of phosphorous in drainage water at organic farms in Östergötland (south of Sweden). I have in all sub studies decided to focus on the area in the paddock with highest animal density, which usually is the area just outside the stable, often gravelled.

Two ground-stabilising materials, sand and lime ( $\text{CaCO}_3$ ) were compared with gravel. The materials were spread in paddocks outside the research-stable in the paddock located at the Swedish Livestock Research Centre at Lövsta in Uppsala. After the hens had been in the paddock for a season, sampling of the materials were carried out. The samples were subsequently irrigated using a rain simulator in order to investigate the risk of phosphorus leakage. The water that was leaking from the materials was analysed. The results indicates that the sand and the lime have a higher capacity to absorb and retain phosphorus compared with the gravel. It seems that it mainly is the physical filtering capacity of the materials, rather than the chemical properties of the cover materials, that delay the leakage of phosphorus. That was because both the sand and the lime had higher capacity to absorb and retain phosphorus compared with gravel and no difference could be observed between the sand and the lime.

The mean of the concentration of phosphate in the leakage water draining from the samples was 58 mg/l for gravel, 115 mg/l for lime and 136 mg/l for sand. A possible interpretation of this result is that the gravel had lost phosphorus already during the season.

This pilot study shows that the phosphorus loading on the water-environment from hens-paddocks, in the area closest to the stable is potentially very large. The area closest to the stable is at risk of becoming a point source of phosphorous leakage on the water-environment. Sampling of drainage water in the field could give an estimation of the amount of phosphorous leakage from hen paddocks.

*Keywords:* Free range laying hens, phosphorus-binding capacity, point source

## Populärvetenskaplig sammanfattning

Fler och fler värphöns vistas ute, då efterfrågan på ekologiska ägg och ägg från frigående höns utomhus ökar. Detta leder dock till en ökad risk för fosforläckage eftersom fosforrik höns gödsel hamnar i rasthagarna. Det finns en risk att denna gödsel når vattendrag, vilket kan leda till övergödning. Fosforläckage är ett stort miljöproblem i många sjöar, eftersom fosfor är det mest begränsande näringsämnet för tillväxt i dessa. Mitt arbete kan sägas bestå av tre delar. Den första delen innehöll en litteraturstudie, där faktorer som behöver tas i beaktan för att bedöma risken för fosforläckage har undersökts. Den andra delen bestod av analys av två marktäckande materials förmåga att binda och hålla kvar fosfor från värphönsens gödsel. Den sista delen bestod av provtagning av dräneringsvatten på fyra ekologiska hönsgårdar i Östergötland. Jag har i samtliga fall valt att fokusera på den mest belastade ytan i rasthagen, d.v.s. den ofta grusade ytan precis utanför stallet.

Två marktäckande material, sand och kalk jämförda med grus, spreds på ytan närmast stallet i rasthagar med värphöns på Lövsta forskningsstation. Efter att hönsen vistats i rasthagarna under en säsong togs prover av materialen som sedan bevattnades. Det vatten som rann igenom materialen undersöktes och resultatet tyder på att kalken och sanden har haft bättre förmåga att hålla kvar fosfor när de låg ute i rasthagen jämfört med gruset. Det verkar framför allt vara fysiskt skydd (t.ex. från markpartiklar) snarare än kemiskt skydd (t.ex. från kemiska bindningar) som fördröjer fosfors väg genom materialen, då sand och kalk var bättre på att hålla kvar fosfor jämfört med grus och ingen skillnad mellan sand och kalk förelåg.

Denna pilotstudie visar att fosforbelastningen från hönsrasthagar på vattenmiljön potentiellt är stor, från ytan som ligger närmast stallet. Denna yta är en liten del av hela hagen och verkar utgöra en risk för punktbelastning av fosfor på vattenmiljön. Provtagning i dräneringsvatten ute på gårdar kommer att kunna ge svar på hur stort fosforläckaget är från denna yta, för att därigenom bedöma hur viktigt det är med åtgärder för att minska risken för påverkan på övergödning.



# Innehållsförteckning

<b>1</b>	<b>Inledning</b>	<b>7</b>
1.1	Syfte	7
1.1.1	Mål	8
<b>2</b>	<b>Litteraturgenomgång</b>	<b>9</b>
2.1	Fosforns betydelse för jordbruket	9
2.2	Fosforns förekomst i marken	9
2.3	Fosforns transportvägar	11
2.4	Jordar i Sverige som löper störst risk för fosforförluster	12
2.4.1	Makroporflöde och dess påverkan på fosforläckaget i lerjordar	12
2.4.2	Alvens betydelse för fosforläckaget i sandjordar	13
2.4.3	Erosionskänsliga mo och mjäla jordar	13
2.5	Risker för fosforförluster från djur som går ute	14
2.6	Fosforinnehåll i höns gödsel	15
2.7	Höns gödsel på ytan närmast stallet	16
2.8	Faktorer som påverkar risken för fosforläckage från ytan närmast stallet	17
<b>3</b>	<b>Material och metod</b>	<b>19</b>
3.1	Fältstudie på Lövsta forskningsstation	19
3.1.1	Utplacering av material i rasthagarna	21
3.1.2	Val av marktäckande material i hönsrasthagarna	22
3.1.3	Bevattningsstudie med regnsimulator	24
3.1.4	Analys av utlakningsvatten och material	26
3.2	Studie av läckage från rasthagar på gårdar	27
3.2.1	Synoptisk provtagning av dräneringsvatten	28
3.2.2	Intervjuer med fyra lantbrukare	29
3.3	Statistik	29
<b>4</b>	<b>Resultat</b>	<b>30</b>
4.1	Fältstudie på Lövsta forskningsstation	30
4.1.1	Väderdata under försöksperioden	30
4.1.2	Utevistelse hos hönsen	31
4.1.3	Bevattnings och avrinning	32
4.1.4	Den totala mängden fosfor i kalk- och sandcylindrarna	36
4.1.5	Test av fosforbindningsförmåga hos materialen	38
4.1.6	Beräkning av fosforbelastningen på ytan närmast stallet	40



4.2	Studie av läckage från rasthagar på gårdar	40
<b>5</b>	<b>Diskussion</b>	<b>42</b>
5.1	Fältstudie på Lövsta forskningsstation	42
5.1.1	Fosforbindningsförmåga i materialen	42
5.1.2	Organiskt material i utlakningsvattnet från gruset	45
5.1.3	Fosforbelastning på ytan närmast stallet	45
5.2	Studie av läckage från rasthagar på gårdar	46
5.3	Förslag på kompletterande studier	47
<b>6</b>	<b>Slutsats</b>	<b>49</b>
	<b>Tack!</b>	<b>50</b>
	<b>Referenslista</b>	<b>51</b>

# 1 Inledning

Produktionen av ekologiska ägg och av ägg från frigående höns utomhus har ökat med 50 % respektive 100 % mellan åren 2011 och 2018 och står idag tillsammans för 20 % av äggproduktionen i Sverige (Jordbruksverket 2018). Detta gör att fler höns får möjlighet att vistas ute eftersom det är ett krav för EU-ekologisk produktion (889/2008 art. 14.5) och för produktion av ägg från frigående höns utomhus (589/2008 bilaga 2.1). Det finns en risk för att fosforbelastningen till närliggande vattendrag ökar i och med utevistelsen, eftersom gödseln som hamnar ute inte utnyttjas inom växtproduktionen. Detta både ökar markens fosforförråd och risken för bortförsl av fosfor genom utlakning. Detta kan i sin tur leda till övergödning, som är ett stort miljöproblem i många sjöar, eftersom fosfor är det mest begränsande näringsämnet för tillväxt i dessa (Schindler 1977). Jordbruket står för ca 40 % av Sveriges totala antropogena fosforbelastning (Naturvårdsverket 2006) och är därmed den enskilt största fosforkällan till Östersjön (HELCOM 2011). EU:s ramdirektiv för vatten antogs år 2000 och avser att alla sjöar, vattendrag, kustvatten och grundvatten ska ha god ekologisk status, vilket i många fall innebär att fosforbelastningen behöver begränsas.

En anledning till att utnyttja fosfor så effektivt som möjligt är att fosfor, som idag bryts i gruvor i ett fåtal länder i världen, är en ändlig resurs (Cordell och White 2014). Studier visar att peak fosfor, den tidpunkt när den maximala produktionen av fosfor når sin höjdpunkt för att sedan obönhörligt avta, kommer att torna upp sig inom de kommande decennierna (Beardsley 2011).

## 1.1 Syfte

Det är idag svårt att bedöma hur stor belastningen av fosfor till sjöar är från hönsrasthagar, då det finns få studier som undersökt hur stort läckaget av fosfor egentligen är från denna produktion. Sedan 2016 pågår därför ett pilotprojekt med forskare på Sveriges lantbruksuniversitet (SLU) tillsammans med Research Institutes of

Sweden (RISE) samt rådgivare för att undersöka näringsbelastningen från utehöns. Projektet heter ”Det är inne att vara utehöna”. Målsättningen med projektet är att ta fram kunskap och verktyg för att bedöma risken för näringsläckage från rasthagar för värphöns och undersöka möjliga åtgärder att minska näringsläckaget. Mitt arbete har utförts inom detta projekt, där jag har valt att begränsa mig till fosforläckage eftersom det var huvudfokus för denna del av projektet. Arbetet kan sägas bestå av tre delar. Den första delen innehöll en litteraturstudie, där faktorer som behöver tas i beaktan för att bedöma risken för fosforläckage har undersökts. Den andra delen bestod av analys av två marktäckande materials förmåga att binda och hålla kvar fosfor från värphönsens gödsel. Den sista delen bestod av synoptisk provtagning och analys av dräneringsvatten på fyra ekologiska hönsgårdar i Östergötland. Jag har i samtliga fall valt att fokusera på den mest belastade ytan i rasthagen, d.v.s. den ofta grusade ytan precis utanför stallet. På denna yta vistas flest höns och hönsen uppehåller sig på ytan under längst tid. Detta då hönsen måste beträda ytan för att komma vidare ut i rasthagen.

#### 1.1.1 Mål

1. Undersöka vilka faktorer som behöver tas i beaktan för att bedöma risken för fosforläckage från ytan närmast stallet genom en litteraturstudie.
2. Analysera hur två olika marktäckande material på ytan närmast stallet fungerar för att fånga och hindra läckage av fosfor.
3. Undersöka dräneringsvattnet från ytan närmast stallet på fyra gårdar, med avseende på dess halt av fosfor.

Det tredje målet stannade vid att förbereda för provtagning på grund av att nederbörden som kom i Östergötland under hösten och vintern var för liten för att leda till någon avrinning.

## 2 Litteraturgenomgång

### 2.1 Fosfors betydelse för jordbruket

Fosfor är ett av de viktigaste näringsämnen för allt liv på jorden. Det är ett makro-näringsämne och nödvändig komponent i deoxyribonucleic acid (DNA) som upprätthåller den genetiska koden, i ribonucleic acid (RNA) som kontrollerar proteinsyntesen och i adenosine triphosphate (ATP) som fungerar som energikälla till de flesta biologiska reaktioner (Cambell et al. 2015).

Inom jordbruket är fosfor viktigt för odlingssäkerheten och för att uppnå en hög skörd. Fosforbehovet varierar beroende på gröda och fosforklass i marken (Hahlin och Eriksson 1981 i Johnson 1997; Nyle C. Brady 1984 i Johnson 1997). Rekommenderad fosforgiva varierar därför mellan 0-70 kg fosfor per ha (Jordbruksverket 2019). I växten är fosforkoncentrationen vanligen 100-1000 gånger högre än i marken (Hahlin och Eriksson 1981 i Johnson 1997; Nyle C. Brady 1984 i Johnson 1997). Fosfor är relativt lättörligt i växten och tas upp via rötterna som fosfatjoner. Fosforbrist leder till försämrad tillväxt, där växten producerar lite ovanjordiska delar i förhållande till underjordiska delar (ibid). Bristen på fosfor leder även till försämrad blomning, försenad mognad och sämre frökvalitet (Eriksson et al. 2011). Proteinsyntesen blir nedsatt samtidigt som sockerinnehållet i bladen ökar, vilket ger de för fosforbrist karakteristiska symtomen av röd och blå färgskiftning (Hahlin och Eriksson 1981 i Johnson 1997; Nyle C. Brady 1984 i Johnson 1997).

### 2.2 Fosfors förekomst i marken

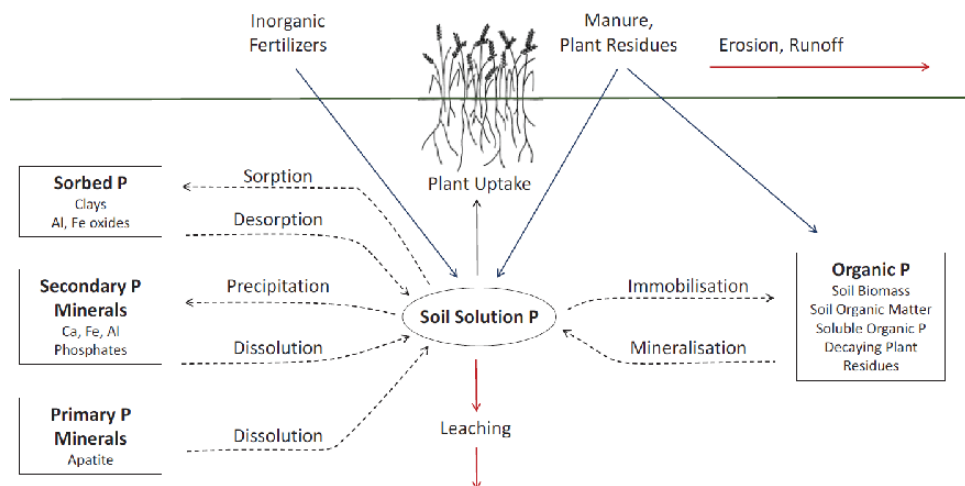
I marken förekommer fosfor löst i marklösningen och bunden i mer eller mindre lättillgänglig form (Eriksson et al. 2011) som har sitt ursprung i mineralet apatit (Fogelfors 2015), figur 1. I marklösningen förekommer fosfor i små mängder i form av divätefosfat ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ) och monovätefosfat ( $\text{HPO}_4^{2-}$ ) (Eriksson et al. 2011).

Proportionerna mellan dessa former varierar beroende på pH. Under pH 7,2 dominerar  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  och över dominerar istället  $\text{HPO}_4^{2-}$ . Eftersom fosfatjonerna har lätt för att reagera med olika markkomponenter är fosforkoncentrationen i marklösningen relativt låg (Fogelfors 2015). Den totala mängden löst fosfor i marklösningen i en åkermark är vanligen endast runt 0,3-3,0 mg fosfor/liter (Fogelfors 2015) och beror av adsorption-desorption och utfällnings-upplösnings processer, och regleras mestadels genom, pH i marken, tillgängliga katjoner och jordens buffringkapacitet (Nash och Halliwell 1999). Lösligheten av fosfor är vanligtvis som störst mellan pH 6-7 (Fogelfors 2015).

I bunden form, som utgör huvuddelen av markens fosforförråd (Fogelfors 2015), förekommer fosfor framför allt i organisk och oorganisk form (Eriksson et al. 2011). Den totala mängden fosfor i de översta 15 cm är mellan 200-2000 kg P/ha, där 40-70 % har beräknats vara oorganisk och 30-60 % organisk fosfor (Condrón et al. 2005 i Parvage 2015).

I organiskt material ingår en stor del av fosfor i fosforestrar men även en mindre del i fosforlipider och nukleinsyror. Resten av den organiska fosfor (ca 50 %) ingår i hittills oidentifierade komponenter i det organiska materialet.

I oorganisk form förekommer fosfat adsorberat till järn- och aluminiumoxider speciellt vid låga pH-värden i jorden (Eriksson et al. 2011).  $\text{OH}_2^-$  gruppen på en oxidyta kan ersättas av en fosfatjon och bindas direkt till  $\text{Al}^{3+}$  eller  $\text{Fe}^{3+}$ . Detta kallas ligandbyte och är en mycket starkare bindning än en jonbindning i utbytbar form, vilket gör fosfor svåråtkomlig för växten. Finns det lösligt  $\text{Al}^{3+}$  eller  $\text{Fe}^{3+}$  kan fosfor fällas ut i svårlösliga föreningar så som  $\text{Fe}(\text{OH})_2\text{H}_2\text{PO}_4$  (strengit) eller  $\text{Al}(\text{OH})_2\text{H}_2\text{PO}_4$  (variscit). För utfällning som Fe(III)fosfat krävs dock ett pH i jorden under 3-4. I torra klimat med kalkrika jordar kan fosfat fällas ut med  $\text{Ca}^{2+}$  i relativt svårlösliga mineral som  $\text{Ca}_8\text{H}_2(\text{PO}_4)_6 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  (oktalciumfosfat) och  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$  (hydroxylapatit). Ovan nämnda reaktioner gör att fosfor som tillförs marklösningen genom mineralisering av organiskt material eller genom gödsling har benägenhet att fixeras eller fastläggas.



Figur 1. Fosforcykeln. Hämtad från Andersson (2016).

## 2.3 Fosfors transportvägar

Sverige har överlag ett klimat med relativt hög humiditet, vilket ger förutsättningar för förluster av fosfor från marken till olika vattenrecipienter (Fogelfors 2015). Fosfor kan försvinna ur marken i antingen löst eller partikelbunden form, som kan inkludera både organiska och oorganiska former av fosfor (Andersson 2016).

Proportionerna mellan löst och partikelbunden fosfor, i det avrinnande vattnet, påverkas i stor utsträckning av skötselmetoder (t.ex. när gödselspridningen sker och vilka jordbearbetningsmetoder som används), markegenskaper (t.ex. dominerande lertyp i jorden och texturklass i jorden), transportvägar och hydrologiska faktorer (Andersson 2016; Parvage 2015).

Fosfor kan transporteras bort från fält via ytavrinning, erosion eller utlakning genom markprofilen. Forskningen kring fosfor har under lång tid varit inriktad på fosfors försvinnande från jordbruksmark via ytavrinning och erosion (t.ex. Maguire och Sims 2002). Dock har utlakningen av fosfor genom markprofilen på senare tid uppmärksammats och anses idag vara den viktigaste förlustvägen av fosfor i Sveriges lerjordsområden (Ulén och Snäll 2006).

Nästan hälften (47 %) av jordbruksmarken i Sverige är idag täckdikad (SCB 2016) och mycket av fosfor i gödseln som utlakas genom markprofilen transporteras till öppna diken och annat ytvatten (Andersson 2016). I medeltal förloras totalt 0,4 kg fosfor per hektar och år från svensk jordbruksmark (Ulén et al. 2006). Sveriges lantbruksuniversitet och Naturvårdsverket (2018) har tillsammans ett miljöövervakningsprogram, där bland annat fosfor mäts i dräneringsvatten från åkermark

på olika platser i Sverige. I dessa mätningar ligger fosfatfosfor- och totalfosforkoncentrationen på mellan 0,01-1 mg/l. En studie av Daniel et al. (1994) visar att så låga nivåer som 0,01 mg/l i vattendrag kan leda till övergödning.

## 2.4 Jordar i Sverige som löper störst risk för fosforförluster

Ulén och Jacobsson (2005) har i deras studie sammanställt information om vilka jordar som är känsligast för fosforförluster i Sverige. I studien konstaterar de att det är huvudsakligen tre typer av jordar som löper störst risk för fosforförluster. Den första typen är lerjordar som karakteriseras av hög andel makroporer (Djodjic 2001). Den andra typen är mo- och mjälajordar som innehåller lite organiskt material och är känsliga för erosion. Den sista typen är sandjordar med låg fosforsorptionskapacitet i jordprofilen. Variationen av temporär och spatial förlust av fosfor är stor, med toppar under kraftig nederbörd (Edwards och Owens 1991) och snösmältning (Ulén 2003). Sharpley et al (1999) har i sin studie visat att en stor andel av fosfor kan förloras från endast en liten del av åkern, under några få dagar med intensiv nederbörd. Pionke et al. (2000) i USA, är i deras studie inne på samma spår och fann att 90 % av fosforförlusten skedde från 10 % av upptagningsområdet, under endast ett kort tidsintervall.

Sharpley et al. (1999) och Pionke et al. (2000) studier visar att det är viktigt att hitta dessa "hot-spots" där det mesta av fosforläckaget, särskilt erosion, sker (Djodjic och Markensten 2018). Fokus måste även vara på både kemiska och fysikaliska egenskaper i både matjord och alv, vilka har stark påverkan på läckaget, för att förstå hur miljöpåverkan från till exempel utedjur sker och för att bra och kostnadseffektiva åtgärder ska kunna implementeras.

### 2.4.1 Makroporflöde och dess påverkan på fosforläckaget i lerjordar

I Sverige innehåller mer än hälften (55 %) av jordbruksmarken mer än 15 % lera och 15 % av all jordbruksmark i Sverige kan klassificeras som styv lerjord (Eriksson et al. 1999 i Villa Solís 2014). Makroporflöde är en kritisk process i fosfors rörelse till täckdikningen och kan delas in i två kategorier: Sprickor/klyftor och bioporor (Stamm et al. 1998; Simard et al. 2000).

Sprickor och klyftor bildas genom naturliga upptorkningsprocesser när jordprofilen sväller och krymper (Kodikara et al. 2000 i Algoazany et al. 2007; Peron et al., 2009). Normalt förknippas denna typ av makroporer med jordar med hög andel fin textur (ler). Studier har visat att jordar med mellan och grövre textur generellt har lägre fosforförluster jämfört med mer lerrika jordar (Beauchemin et al. 1998).

Djodjics avhandling (2001) visar vilken stor betydelse makroporflödet har på fosforläckaget. I studien tillsattes fosforhandels gödsel till en cylinder innehållande lerjord och en cylinder innehållande homogen sandjord, där makroporflöde var den dominerande transportmekanismen i lerjorden. Resultatet visade att fosforförlusten i lerjorden nådde 4 kg/ha jämfört med 0,056 kg/ha i den homogena sandjorden. Den största andelen fosfor lakades ut i löst form. I lerjordar med stort makroporflöde kan fosforrikt vatten mer eller mindre direkt transporteras genom jorden via dessa porer till täckdikningen och vidare nå ytvatten (Djodjic et al. 1999).

Bioporor till skillnad från sprickor och klyftor formas genom biologisk aktivitet till exempel från gamla rotkanaler eller dagmaskgångar (Nielsen et al., 2010). Snabbare flöde och större förluster av löslig fosfor har observerats i jordar med riklig förekomst av rotkanaler och dagmaskgångar jämfört med jordar där makroporerna varit påverkade (Singh och Kanwar, 1991 i Algoazany et al. 2007; Domínguez et al. 2004).

Är makroporflödet i alven stort kan vattentransporten ske snabbt, vilket leder till att fosfor inte hinner reagera med adsorptionsytorna i alven (Andersson 2016). I sådana jordar kan fosforläckaget förväntas vara direkt kopplat till frigörelsen i matjorden.

Samtidigt med det snabba flödet genom markens porsystem sker det också ett långsamt flöde av vatten genom marken. Den fosfor som infiltrerar på detta långsamma sätt hinner i större utsträckning binda till markpartiklar och lakas inte ut i lika stor omfattning. I jordar med relativt homogent flöde, där en stor andel av porvolymen bidrar till vattentransporten, är generellt läckaget av fosfor litet, trots att fosforinnehållet i matjorden kan vara högt (Djodjic 2001).

#### 2.4.2 Alvens betydelse för fosforläckaget i sandjordar

En avhandling av Andersson 2016 visar att alven kan ha en stor betydelse när det kommer till läckage av fosfor. Ökad fosformättnadsgrad och ökat fosforinnehåll i alven, samt minskad adsorptionskapacitet i både matjord och alv, visade sig vara väl korrelerat med stigande fosforläckage, vilket tyder på att dessa egenskaper skulle kunna användas för att uppskatta fosforläckage. I Sverige finns det lätta jordar som tack vare en järnrik alv har ett litet fosforläckage, eftersom järnet binder fosfor (Liu et al. 2013). Motsatsen är lätta jordar utan järninnehåll, där hela jordprofilen har högt fosforinnehåll, vilket ger ett stort och uthålligt fosforläckage.

#### 2.4.3 Erosionskänsliga mo och mjåla jordar

Mo- och mjåljordar är känsliga för erosion på grund av svag kohesionskraft mellan jordpartiklarna och även låg motståndskraft mot friktion (Ulén och Jacobsson 2005).



Jordar med grövre partikelstorlek är ofta alltför tunga för att kunna transporteras iväg och väldigt fina partiklar, så som lerpartiklar, har ofta stark kohesionskraft som håller ihop partiklarna (Panagos et al., 2014). Den vanligaste formen av erosion i Sverige är yterrosion (Ulén och Jacobsson 2005) som innebär att material så som ler, mjåla, mo, humus och näringsämnen transporteras över markens ytskikt (Eriksson et al. 2011). Denna form av erosion som inte alltid är så lätt att observera kan föra bort en betydande andel näringsämnen. Detta då det översta jordlagret innehåller extra mycket fina jordpartiklar med hög specifik yta som kan adsorbera fosfor (Sharpley 1985). En annan form av erosion som sker i Sverige är rännils- eller fårerrosion som uppstår när vattenströmmar bildar smala kanaler i jorden. Ulén (2006) har uppskattat att upp till 15 % av jordbruksmarken i Sverige kan förväntas löpa en risk för erosion. Risken ökar om åkermarken är bar under en stor del av året, utan någon skyddande vegetation (Villa Solís 2014).

## 2.5 Risker för fosforförluster från djur som går ute

Av den fosfor som tillförs åkermarken i form av en vanlig giva av organisk fosfor (stallgödsel) eller oorganisk fosfor (mineralgödsel) tar grödan i genomsnitt upp endast 20 % under en växtsäsong (Roy et al 2006). Dock skiljer effektiviteten sig mycket åt mellan organisk och oorganisk fosfor. Delin har i ett krukförsök (2015) visat på 60-70 % effekt av organiska gödselmedel (mink, kyckling, nötflyt) jämfört med oorganiska gödselmedel. En stor del av fosfor som blir kvar i marken adsorberas till jordpartiklar (Parvage 2015) och fungerar som fosforkälla åt grödan under kommande växtsäsonger. Eftersom en stor del av den fosfor som tillförs med gödseln binds snabbt till markpartiklar blir utlakningen av fosfor generellt liten (Fogelfors 2015). Dock kan kontinuerlig tillförsel från alla typer av fosforkällor leda till ökat fosforinnehåll i marken om tillförseln överskrider bortförseln (ibid.), vilket ökar risken för läckage på sikt (Andersson 2016; Liu 2013; Kratz et al. 2004).

Det finns många studier som har undersökt miljöeffekterna av att sprida till exempel höngödsel på åkermark (Svanbäck 2014; Kratz et al., 2004; Sharpley, 1999) men det är få publicerade studier som har undersökt hur näringstillförsel från höns som går ute påverkar marken (Wiedemann et al. 2018).

I betesmarker tillförs fosfor regelbundet till marken i form av gödsel från betesdjuren (Nash et al. 2000 i Parvage 2015). Den totala mängden fosfor som tillförs betesmarken beror på kvalitén på det foder som djuren äter inomhus och/eller i betesmarken, hur mycket tid djuren spenderar i betesmarken, djurtätheten och hur djuren och djurens gödsel fördelar sig över betesytan (ibid.).

Ett problem som finns för de flesta andra djur som går ute, men inte hos fjäderfä, är att djuren med sina klövar eller hovar trampar sönder de områden i hagen där de

uppehåller sig ofta. Hönsen påverkar dock vegetationen i stor utsträckning och där hönsen vistas ofta, är den för det mesta helt uppsprätt och uppäten. I rasthagarna för värphöns med utevistelse är marken framför stallen bar på grund av deras aktivitet (muntlig källa, Malin Lovang, Lovang Lantbrukskonsult AB, 7/3-2019).

Reglerna för ekologisk fjäderfäproduktion anger att värphönsen ska ha tillgång till utevistelse under merparten av dygnet under minst fyra månader, samt under övrig tid när markbeskaffenhet och väder tillåter, så vida det inte finns myndighetsbeslut som tvingar producenterna att ha djuren inne (Nationella riktlinjer för ekologisk produktion 2017). Varje individ ska erbjudas utevistelse under minst en tredjedel av sitt liv (889/2008 art 14.5). Den högsta tillåtna besättningsstorleken inom ekologisk produktion är 3 000 värphöns (889/2008). Antalet hönor per avdelning i stallet får inte överskrida 3 000 (889/2008). För KRAV-produktion får det maximalt vara 18 000 höns per stall (KRAV 2019). Varje höna ska ha tillgång till 6 m<sup>2</sup> inomhus och 4 m<sup>2</sup> utomhus (889/2008). Detta ger en total area för de största rasthagarna på 7,2 ha per stall.

## 2.6 Fosforinnehåll i höns gödsel

Foderstaten för ekologiska värphöns består vanligen av 70-80 % spannmål som kompletteras med kalk, vitaminer och mineraler (Jordbruksverket 2016). Detta ger en fosforhalt på 0,5-0,7 % per kg foder (Steineck et al. 2000).

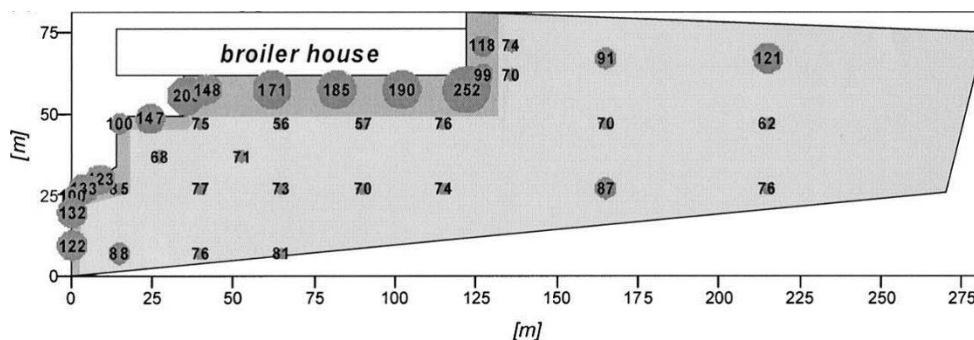
Den samlade höns gödseln från 100 ekologiska värphöns under ett år innehåller ca 18 kg fosfor (muntlig källa, Johan Malgeryd, Jordbruksverket, 7/1 2019). Motsvarande siffra för konventionella frigående värphöns är ca 16 kg P/100 värphöns och år (muntlig källa, Johan Malgeryd, Jordbruksverket, 7/1 2019). Anledningen till att det blir lite mer fosfor i gödseln från ekologiska värphöns än från konventionella värphöns är på grund av att foderutnyttjandet är något sämre hos ekologiska värphöns (Steineck et al. 2000). Exempelvis är en stor andel (60-80 %) av fosfor i vegetabiliska fodermedel organiskt bunden som fytinsyra, som inte kan smältas och utnyttjas av värphöns (ibid.). Genom att tillsätta enzymet fytas blir en större andel av fosfor tillgänglig för hönsen, vilket minskar fosforutsöndringen i gödseln från värphönsen. Fytas är inte tillåtet inom ekologisk hönsproduktion (889/2008 bilaga 6), vilket leder till att en större andel fosfor hamnar i gödseln (Steineck et al. 2000).

Analys av fastgödseln från värphönsen i denna studie visade på en fosforhalt på 3,3 kg/ton, en kvävehalt på 11,1 kg/ton och en kaliumhalt på 4,8 kg/ton, vilket ger en N/P-kvot på runt 4:1. Detta kan jämföras med N/P-kvoten från mjölk gödsel som i genomsnitt ligger på runt 9:1 eller från slaktsving gödsel, där N/P-kvoten är runt 6:1 (Jordbruksverket 2019).

## 2.7 Höns gödsel på ytan närmast stallet

Mycket av gödseln från värphönsen hamnar inne i stallet men en del hamnar även ute i rasthagen (Kratz 2002 i Kratz et al. 2004). I Per Jensens bok *Husdjurens beteende* från 1983 nämns det att hönsen främst gödslar vid vila. Detta torde vara inne i stallet eftersom det är där det finns sittpinnar för hönsen att sova uppe på. Utevistelsen varierar mellan olika länder och olika studier. I Chielos studie (2016) från Storbritannien observerades det att 12,5 % av värphönsen vistades ute i rasthagen. Spridningen var dock stor, mellan 3-35 %. Ytterligare en studie fann att drygt 20 % av hönsen vistades ute (Zeltner och Hirt 2003). Hegelund (2005) fann i sin studie ett samband mellan gruppstorlek och förväntad utevistelse, där en mindre andel höns vistades ute ju större gruppstorleken var. I denna danska studie undersöktes 37 hönsgrupper i varierande storlekar mellan 500-6000 höns. Ett medeltal på utevistelsen i studien för samtliga grupper hamnade på endast 9 %. En tysk modellbaserad beräkning av Kratz (2002) visar istället att upptill 60 % av den totala mängden höns gödsel hamnar i rasthagen. Dessa studier visar hur svårt det i förväg kan vara att uppskatta hur mycket höns gödsel som faktiskt hamnar i rasthagen.

Flera studier visar att värphöns är dåliga på att utnyttja hela rasthagen (Nagle och Glatz, 2012; Maurer et al., 2013; Wiedemann et al., 2018). I en studie av Kratz från 2004 har de undersökt fosforbelastningen genom jordprovtagning i en rasthage med slaktkycklingar, som varit i produktion under fyra år (figur 2). De har använt sig av fosfatfosfor extraherat med calcium-acetate-lactate ( $P_{CAL}$ ) som ett mått på fosforhalten i marken. Deras resultat från jordproverna tagna 0-10 cm ner i marken visar att koncentrationen fosfatfosfor inte är jämt fördelad över rasthagen. De högsta koncentrationerna, uppåt 200 mg/kg  $P_{CAL}$ , uppmättes närmast utgången till stallet och 85 % av rasthagen besöktes endast sparsamt eller inte alls av hönsen. I studien jämförde de med 90 mg/kg  $P_{CAL}$  som i Tyskland, där studien kommer ifrån, är den högsta koncentration för optimal skörd (Kerschberger et al. 1997 i Kratz et al. 2004). Över denna koncentration finns det ingen direkt relation mellan mer fosfortillförsel och upptag i växten, vilket leder till att all extra tillförsel av fosfor kommer att öka risken för fosforläckage. I deras resultat kunde de även konstatera att rotation mellan rasthagar eller insåning av nytt gräs endast kunde dämpa och inte hindra upplagringen av fosfor i marken.



Figur 2. Fördelningen av koncentration fosfatfosfor i mg/kg, extraerat med calcium-acetate-lactate (PCAL), i en rasthage med utehöns. Jordproverna är tagna 0-10 cm ner i marken och slaktkyklingarna hade belastat marken i fyra år. Figuren är hämtad från Kratzs studie (2004).

Höns, precis som kor, sprider gödsel mer eller mindre slumpmässigt där de befinner sig (muntlig källa, Stefan Gunnarsson, universitetslektor på institutionen för husdjurens miljö och hälsa, SLU 28/1 2019). Det är i stort sett omöjligt att kontrollera var gödseln hamnar när hönsen går fritt. Rasthagen kommer inte att utnyttjas jämnt utan vissa områden kommer ha högre belastning än andra områden. Menzi et al. (1997) i Kratz et al. (2004) har räknat ut att näringstillförseln på de ytor som hönsen föredrar är elva gånger högre än näringstillförseln i hela rasthagen. Hönsen föredrar till exempel mer skyddade ytor framför mer öppna ytor (Kratz et al. 2004). En sådan skyddad yta är till exempel ytan precis utanför stallet. Denna yta består ofta av grus dels för att det ska vara möjligt att köra med tunga maskiner, och dels för att skapa väl-dränerade förhållanden. Gruslagret varierar i tjocklek på olika gårdar. Hos de fyra gårdar som jag besökte varierade det mellan 0,5 - 1,5 m djup (läs mer om studien på de fyra gårdarna under metodavsnittet). Under gruslagret ligger ofta dräneringen till stallet. För att hålla god hygien finns det lantbrukare som har ett tunt sandlager ovanpå gruslagret som byts regelbundet.

## 2.8 Faktorer som påverkar risken för fosforläckage från ytan närmast stallet

Kopplingen mellan utehöns och fosforläckage är idag ett relativt outforskat område (Wiedemann et al. 2018). Utöver information från vetenskapliga tidskrifter har information bland annat sökts på Louis Bolk Institute i Nederländerna, Soil association och The organic research center i Storbritannien och Research Institute of Organic Agriculture (FiBL).

Litteraturgenomgången om fosfor och fosforläckage visar att det är många faktorer som spelar in när bedömning av risken för fosforläckage ska göras från ytan

närmast stallet. Olika åtgärder kan därmed ha olika stor betydelse beroende på lokala förutsättningar på den specifika platsen. De faktorer som har störst betydelse för fosforläckaget kan sammanfattas som markegenskaper och punktbelastning.

Markegenskaperna påverkar i stor utsträckning fosforläckaget. Markprofilen på ytan närmast stallet består vanligen av grus som antingen går ända ner till dräneringen eller så är det ett jordskikt mellan gruset och dräneringen. På de gårdar som har grus ända ner till dräneringen kan det förväntas ett större läckage av fosfor än från de gårdar som har ett jordskikt mellan gruset och dräneringen. Detta då grusets grova struktur ger upphov till stora porer som fosforrikt vatten snabbt kan transporteras genom.

På de gårdar som har ett jordskikt mellan gruset och dräneringen har de ursprungliga egenskaperna i marken betydelse. I en lerjord till exempel med hög andel makroporer kan fosforläckaget bli stort. Detta då transporten genom markprofilen via makroporerna kan gå mycket snabbt, vilket leder till att fosfor inte hinner binda till jordpartiklar utan följer istället med vattnet ner till dräneringen. Det är dock oklart hur mycket jorden spricker upp under gruset och kan bilda dessa makroporer. Saknar lerjorden makroporer borde istället läckaget av fosfor vara litet. I en sandjord är det istället innehåll av järn som har stor betydelse för fosforläckaget.

pH i marken har extra stor betydelse om marken innehåller mycket järn eller aluminium, men även kalcium. Vid lågt  $\text{pH} < 6$  kan järn eller aluminium binda stora mängder fosfor och vid högt  $\text{pH} > 7$  binder fosfor till kalcium istället. På grund av detta är fosfor som mest tillgängligt för växten vid  $\text{pH} 6-7$  men det är även inom detta intervall som risken för fosforläckage är som störst. Som nämnts tidigare måste fokus vara på både kemiska och fysikaliska egenskaper för att man ska kunna komma tillrätta med fosforläckaget. Det är inte heller bara matjorden som har betydelse för fosforläckaget, alven har stor påverkan genom framförallt fosformättnadsgrad, fosforinnehåll och adsorptionskapacitet.

Marken har ofta en stor förmåga att binda och hålla kvar fosfor. Det är när koncentrationen av fosfor blir väldigt hög i samband med snabb transport till exempel vid kraftig nederbörd som fosforläckaget blir som störst. Studier visar nämligen att en stor del av fosfor förloras under ett smalt tidsintervall på några få begränsade platser i landskapet.

Just en sådan punktbelastning är ytan närmast stallet. Fosforbelastningen på denna yta blir mycket hög på grund av det stora antalet höns som ofta inte rör sig så långt ut från stallet. Hur hög den blir beror på antalet höns och under hur lång tid de vistas där.

## 3 Material och metod

### 3.1 Fältstudie på Lövsta forskningsstation

På Lövsta forskningsstation bedrevs det en fältstudie med ekologiska värphöns inom projektet ”Det är inne att vara en utehöna”, där hönsens belastning av fosfor i rastgårdarna undersöktes (figur 3 och 4). Försöket startade i maj 2018 och avslutades i oktober samma år. I studien testades två marktäckande material (sand och kalk) jämförda med grus (kontroll) med avseende på förmåga att hålla kvar fosfor, för att därigenom skydda underliggande mark från belastning. I fältförsöket användes totalt nio rasthagar som delades upp i tre block, där varje behandling fanns representerad i respektive block (figur 5). Det fanns alltså tre replikat för varje behandling.



*Figur 3.* Rasthagarna på Lövsta forskningsstation under pågående fältstudie. De vita remsorna är till för att förenkla räkningen av hönsen på vardera yta. Bilden är tagen av Lotten Wahlund, RISE.



Figur 4. Hönsstallet på Lövsta med tillhörande rasthagar sett från ovan.

Hönshus								
Sand	Kalk	Grus	Sand	Kalk	Grus	Kalk	Sand	Grus
Block 1	Block 1	Block 1	Block 2	Block 2	Block 2	Block 3	Block 3	Block 3

Figur 5. Schematisk bild över rasthagarna uppdelade i de tre blocken.

I varje rasthage som hade en area av 90 m<sup>2</sup>, vistades det totalt 75 värphöns och en tupp, av rasen Bovan. Slås arean ut per höna blir det 1,2 m<sup>2</sup>, vilket är högre djurtäthet mot vad som är tillåtet för rasthagar i ekologisk hönsproduktion, där minimikravet är 4 m<sup>2</sup> per höna (889/2008 bilaga 3). Djurtätheten för inomhusmiljön följde däremot de Nationella riktlinjerna. Anledningen till att en något högre djurtäthet valdes var för att säkerställa en hög belastning på materialen. Observationer av antalet höns som var ute i rasthagen gjordes två gånger per dag, fem dagar i veckan, under hela försöksperioden. Vid räkning av antalet höns delades rasthagen in i tre ytor, där antalet höns på varje yta räknades (figur 6). Hönsen sattes in i stallet som unghöns i mitten av april och fick ekologiskt foder. Luckorna ut till rasthagen öppnades i maj och var därefter öppna under hela försöksperioden. Hönsen hade därmed väldigt stora möjligheter att vistas ute.

Räkna antalet hönor på de tre ytorna i alla nio rastgårdar (totalt 27st ytor)

Datum: 23/5

Tid: 9:45

Protokollförelse: Helena O

Notering av hönor som springer in:

Notera enligt följande:

0 = ingen höna på ytan

1A = 1 till 10 hönor på ytan

1B = 11 till 25 hönor på ytan

2 = 26 till 50 hönor på ytan

3 = 51 till 75 hönor på ytan

Hönshus									
Ex. 1A	1B	1B	1B	1B	1A	1B	1B	1B	1B
Ex. 3	1A	1A	1A	1A	1A	1A	1A	0	1A
Ex. 0	1A	0	1A	1A	1A	1A	1A	0	0
	Sand 9	Kalk 8	Grus 7	Sand 6	Kalk 5	Grus 4	Kalk 3	Sand 2	Grus 1

Figur 6. Protokoll som användes vid räkning av antalet höns på varje yta. Just detta protokoll fylldes i den 23/5-2018 på förmiddagen av Helena Oscarsson. Vid denna räkning var det flest höns på ytan närmast stallet.

### 3.1.1 Utplacering av material i rasthagarna

I alla rasthagar fanns det redan från början ett lager med grus ca 20 cm ner på en yta av ca 3,5 x 3,5 meter närmast stallet. Under gruset bestod marken av jord uppblandat med fyllnadsmaterial från när hönsstallet byggdes. De nya materialen (kalk eller sand) lades sedan ovanpå det befintliga gruset med ett "djup" på 0,2 m. Totalt har alltså 2500 liter kalk eller sand placerats ut vid start av försöket. Mellan gruset och kalken eller sanden lades det en markduk. Rasthagarna med endast grus (kontroller) förblev orörda.

Under försökets gång fylldes det, då markduken blivit synlig, på med kalk och sand i rasthagarna. Det fylldes på 300-400 liter sand i rasthagarna med sand och 100 liter kalk i två av rasthagarna med kalk. Detta gjorde att rasthagarna med sand fick 12-16 % extra material under säsongen samtidigt som rasthagarna med kalk fick 0-4 % extra material under säsongen. Efter påfyllnaden jämnades materialen till.



### 3.1.2 Val av marktäckande material i hönsrasthagarna

För att materialen skulle kunna användas i rasthagen behövde de uppfylla ett antal kriterier, vilka bestod i: Ha någon form av fosforbindande eller fysisk kvarhållande effekt, vara KRAV-godkänt eller kunna bli inom en snar framtid, inte vara skadligt för hönsen, inte påverka äggen negativt, vara användarvänligt och inte vara för dyrt. Anledningen till att materialet måste vara KRAV-godkänt eller kunna bli det inom en snar framtid är på grund av att detta är en tillämpad forskning så tanken är att materialet, ifall det visar sig ha den önskade effekten, ska kunna implementeras i produktionen relativt omgående.

I projektet anordnades, före fältförsökets start, en workshop tillsammans med rådgivare, experter, hönsproducenter och KRAV för att identifiera vilka material som skulle testas i fält (muntlig källa, Helena Aronsson, forskare vid institutionen mark och miljö, SLU, 1/2-2019). Olika typer av material med kraftigt fosforadsorberande förmåga diskuterades, till exempel olika former av slaggprodukter från stålindustrin, filtermaterial som används i avloppssammanhang och naturmaterial som snäckskal, torv och sand. Baserat på praktisk genomförbarhet och kostnader, men framför allt för djurens hälsa och risk för påverkan på äggen, blev det slutliga valet vanlig sandlådesand och foderkalk. Dessa material kan fungera som ett fysiskt filter, och kalken kan också förmodas binda en del fosfor, genom utfällning av kalciumfosfat eller genom bindning till materialet.

Foderkalken som användes kom från Nordkalk och bestod av kalkstensmjöl (0,5-2,5 mm grovt) med produktnamnet Nordkalk KÖ 500-2500 (figur 7). Detta ges ofta i foderstaten till värphöns. Kalkstensmjöl består av mineralet kalcit (kalkspat) som alltid förekommer i kalkhaltiga jordar (Eriksson et al. 2011). Det är ett mildt kalkmedel som långsamt går i lösning i sura jordar och kan höja pH till ca 8 (ibid). Sanden var så kallad sandlådesand (0-4 mm) från en entreprenör i Uppsala (figur 8). Gruset som låg i rasthagarna var singel av vanlig granit (6-20 mm grovt), se figur 9.



*Figur 7. Kalken utlagd i rasthagen. Bilden är tagen av Lotten Wahlund, RISE.*



*Figur 8. Sanden utlagd i rasthagen. Bilden är tagen av Lotten Wahlund, RISE.*



*Figur 9. Kontrollen (grus) i rasthagen. Bilden är tagen av Lotten Wahlund, RISE.*

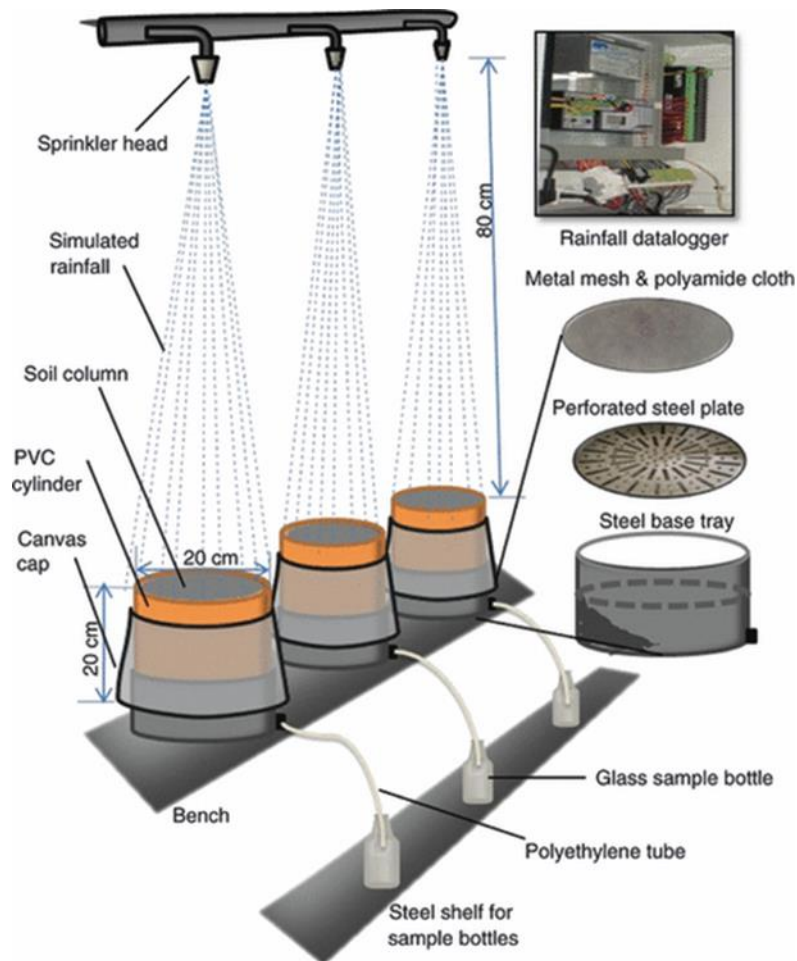
### 3.1.3 Bevattningsstudie med regnsimulator

Efter att värphönsen vistats i rasthagarna på Lövsta forskningsstation under säsongen 2018 (maj-okt) togs prover från materialen. Två prov (A och B) togs i varje rasthage ca 0,5 m ut från husväggen under ett utskjutande tak på ca 1 m. Materialet som delvis blandats upp med jord av hönsen togs ner till 10-15 cm djup och samlades in i hinkar. Dessa hinkar fick sedan stå i utomhustemperatur till dess det var dags att fylla cylindrar med materialet inför bevattningsstudien. Totalt 18 cylindrar, två från varje rastgård, fylldes med antingen grus, sand eller kalk (se en av cylindrarna med grus i figur 13).

För att i så stor utsträckning som möjligt efterlikna naturliga nederbördsförhållanden användes en regnsimulator (figur 10 och 14). Denna beskrivs av Liu et al. (2013) och består av ett rostfritt sprinklersystem med 10 munstycken placerade ca 40 cm ifrån varandra och ca 60 cm ovanför cylindrarna innehållande materialen. Cylindrarna bestod av plaströr med en diameter på ca 20 cm. Dessa ställdes ner i en stålbehållare med en perforerad stålbottnen. Ett metallnät lades ovanpå stålbottnen och ovanpå detta lades en mycket finmaskig duk (planktonnät). Detta gjordes för att förhindra att stora jordpartiklar hamnade i uppsamlingsbägaren. Två hål med påkopplade slangar fanns placerade längst ner i stålbehållaren (figur 11). Den ena slangen var för luftning och den andra förde med sig vattnet, som passerat jordmatrisen, vidare till uppsamlingsdunken (figur 13). Ett regnskydd trädde över cylindrarna för att undvika att vatten tog sig in mellan kanten på plaströret och stålbehållaren (figur 11). Skivor av plexiglas var fastsatta runt sprinklersystemet för att undvika turbulens under bevattningen.



*Figur 10.* Cylindrar uppställda i regnsimulatorn. *Figur 11.* Gruscylinder med påträtt regnskydd och synlig slang för luftning. *Figur 12.* Uppsamlingsdunk. *Figur 13.* Gruset i cylindern innan bevattningen drog igång.



Figur 14. Schematisk bild över regnsimulatorens utrustning med jordning gjorda inför bevattning. Bilden är hämtad från Liu et al. (2013).

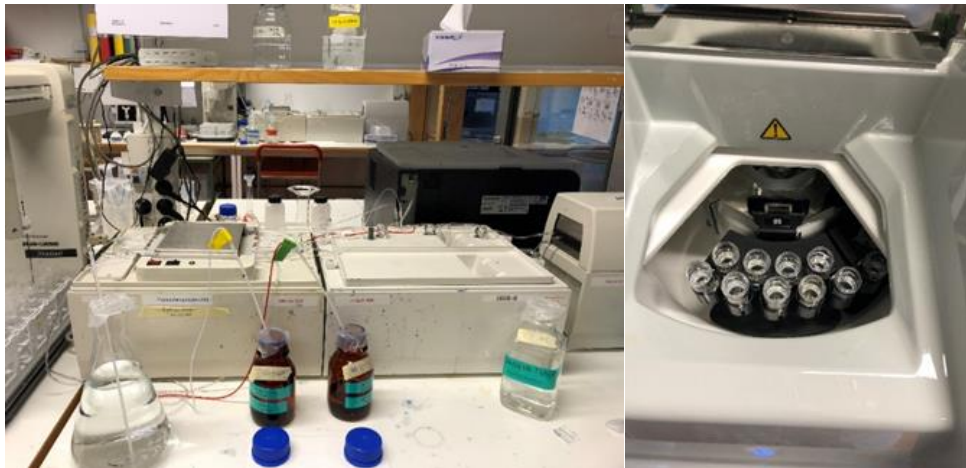
I regnsimulatorens användes artificiellt regnvatten, vilket bestod av: 0,58 g NaCl/L, 0,70 g (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>/L, 0,501 g NaNO<sub>3</sub>/L, 0,57 g CaCl<sub>2</sub>/L och 0,95 ml HCl/L. Regnsimulatorens kalibrerades innan försöket drog igång för att säkerställa att alla jordcylindrar bevattades med samma mängd vatten. Kraftig nederbördsintensitet simulerades genom att regnsimulatorens ställdes in för att bevattna 5 mm på en timme i totalt 5 timmar d.v.s. 25 mm. Försöket pågick i fyra dagar, där varje cylinder bevattades en gång per dag. Tanken var att varje cylinder skulle bevattas med 100 mm. Efter varje bevattningsomgång fick cylindrarna stå och droppa av till nästa bevattning dagen därpå. Utlakningsvattnet i uppsamlingsdunken hölls upp i flaskor som sedan lämnades in till Laboratoriet för geokemi (Vattenkemiska laboratoriet) på SLU.

### 3.1.4 Analys av utlakningsvatten och material

#### *Analys av totalfosfor och fosfatfosfor i utlakningsvattnet*

Totalfosfor (tot-P) och fosfatfosfor ( $\text{PO}_4$ ) i de olika materialens utlakningsvatten analyserades på Vattenkemiska laboratoriet. Analys av totalfosfor ger ett värde på den totala mängden fosfor i vattnet, där alla fosforfraktioner inkluderas så som organisk bunden fosfor, partikulärt fosfor och i vattnet löst fosfatfosfor (Wachenfelt 2002). Analys av fosfatfosfor ger ett värde på mängden löst fosfat i vattnet. Vid analys av fosfatfosfor lät man först partiklar i utlakningsvattnet sedimentera ner till botten av flaskorna. Eftersom utlakningsvattnet innehöll så mycket organiskt material var proverna även tvungna att spädas 100 gånger och därefter filtreras innan de kunde analyseras (figur 16).

Inför analys av totalfosfor var det första som gjordes att tillsätta svavelsyra (4 M) till proverna. Detta för att konservera dem eftersom analysen av proverna tar lång tid. Proverna späddes 2000 gånger i två steg och en oxidationslösning tillsattes innan uppslutningen för att omvandla all fosfor i proven till fosfat. Vid uppslutning utsattes proverna för högt tryck och hög värme. Därefter analyserades proverna med avseende på fosfat i autoanalyzern (figur 15).



Figur 15. Autoanalyser som analyserar totalfosfor. Figur 16. Maskin som analyserar fosfatfosfor.

#### *Analys av totalfosfor och fosfatfosfor i materialen*

På marklab analysades kalken och sanden med avseende på totalfosfor, både före och efter bevattningsförsöket. Detta för att få ett mått på innehåll av fosfor i materialen men även för att se skillnad i fosforhalt före och efter bevattningen. Vid analys av totalfosforhalt i materialen tillsattes en oxidationslösning för att därefter uppsluta proverna. Grus kunde inte analyseras på grund av dess grova struktur.

Även mängden utlakningsbar fosfor (fosfatfosfor) i materialen undersöktes. Det gjordes genom att skaka 6 g av materialet med 18 ml 0,01 M kalciumkloridlösning under 20 timmar. Därefter centrifugerades provet och analyserades med avseende på fosfat. Detta gjordes för att få ett mått på den totala mängden direkt vattenlöslig och utlakningsbar fosfor. Kalciumklorid användes för att efterlikna jonstyrkan i markvattnet.

#### *Analys av fosfatfosforbindningsförmåga i materialen*

Fosforbindningsförmågan hos sanden och kalken undersöktes genom sorptionstester, så kallat sorptionsisotermer. Material med en kornstorlek under 2 mm sållades fram. För sanden bestod 98 % av materialet av kornstorlekar under 2 mm, medan samma siffra för kalken var ca 80 %. En liten mängd (2 g) material skakades och centrifugerades tillsammans med lösningar som hade kända stigande halter av fosfor. Därefter analyserades koncentrationen av fosfor i lösningen kolorimetriskt. Ju lägre koncentration av fosfor i lösningen desto mer fosfor hade bundit till materialet. Resultatet som erhöles testade gentemot kända samband (Langmür och Freundlich). För kalken passade Langmür-kurvan bäst, medan Freundlich-kurvan stämde väl överens med resultatet från sanden.

#### *Analys av pH i utlakningsvattnet*

pH-mätning genomfördes i ett urval av utlakningsvattenproverna. pH mättes även i utlakningsvattenproverna efter att fyrmolarig svavelsyra (4 M) tillsatts.

### **3.2 Studie av läckage från rasthagar på gårdar**

Planering och besök gjordes på fyra ekologiska hönsgrårdar i Östergötland för att provta dräneringsvatten från, dels ytan framför stallet men även från en referensyta i närheten, vars dränering inte avvattnade någon del av rasthagen. Gårdarna som var med i studien valdes ut av Malin Lovang, växtodlingsrådgivare på Lovang Lantbrukskonsult AB, utifrån följande fyra kriterier:

1. Att rastgården har använts länge så att det har byggts upp en fosforkälla utanför stallet.
2. Att det ligger en dränering runt huskroppen som lantbrukaren vet om vart den leds.
3. Att det går att provta dräneringsvatten från enbart den dräneringen (punkt 2).
4. Att ytan ovanför dräneringen inte är överbyggd, utan utsätts för nederbörd.



Många gårdar har idag en veranda som ligger ovanpå ytan närmast stallet (muntlig källa Malin Lovang, Lovang lantbrukskonsult AB 4/3-2019). Detta gjorde det svårt att hitta gårdar att provta hos.

### 3.2.1 Synoptisk provtagning av dräneringsvatten

I denna studie planerades det att göra synoptiska vattenprovtagningar. Med synoptiska vattenprovtagningar menas att flera prov tas på olika platser i vattendraget vid ett och samma tillfälle inom samma avrinningsområde (LOVA-Lokala vattenvårdsprojekt 2015). Genom att använda denna metod kan delavrinningsområden med avvikande vattenkvalitet studeras närmare, vilket kan ge information om orsaker till växtnäringsförluster till vattendrag (Kyllmar 2009). I denna studie var planen att använda metoden för att undersöka om dräneringsvattnet från ytan närmast stallet innehåller högre fosforhalter jämfört med närliggande åkermark.

Vilka samband som hittas mellan vattenkemi och aktiviteter i området påverkas i stor utsträckning av tidpunkten för den synoptiska vattenprovtagningen eftersom både flöde och halter av fosfor varierar över året (Sveriges lantbruksuniversitet och Naturvårdsverket 2012). För att få med denna variation var målet att göra vattenprovtagning vid tre olika tillfällen under senhösten och vintern. Metoden anses ge en god bild om variation i vattenkvalitet trots relativt få provtagningstillfällen (Kyllmar 2009).

Provtagning planerades att utföras i dräneringsbrunnar vars vatten kom från dräneringen under ytan närmast stallet. En vattenhämtare, vilket är en flaska monterad på en stång med teleskopförlängning, fanns tillgänglig för att samla upp vattnet (Sveriges lantbruksuniversitet och Naturvårdsverket 2012). Utförandet planerades så att flaskan för provtagning sköljdes ur med vatten från provtagningspunkten. Vattnet i vattenhämtaren skulle sedan hällas över i en mindre behållare och stoppas i en kylväska innan det lämnades in för analys på Vattenkemiska laboratoriet.

Provtagning skulle även genomföras i dräneringen från en referensyta som i samtliga fall var en åker i närheten. Referensytan valdes noggrant ut efter att ha så lite påverkan av dräneringsvatten från hönsrasthagarna som möjligt. Referensytan gödslades och har samma klimat som ytan närmast stallet. I övrigt skiljer de sig åt genom olika markmaterial, belastning och brukning. Dräneringsvattnet från fälten avvattnar flera hektar, vilket ger spädningseffekter medan dräneringen runt stallbyggnaden troligen späds ytterst lite.

### 3.2.2 Intervjuer med fyra lantbrukare

Alla fyra lantbrukare där mätningar genomfördes blev även intervjuade. Samtliga intervjuer skedde ute på respektive lantbrukares gård. Detta för att lantbrukaren, samtidigt som intervjun pågick, skulle ha möjlighet att visa hur dräneringen till hönsstallet hade utförts på den specifika gården och för att lantbrukaren lättare skulle komma ihåg hur bygget faktiskt genomförts. En annan anledning till att intervjun genomfördes ute på gårdarna var för att förenkla för lantbrukaren så att hen slapp ta sig någonstans. Ett färdigt frågeformulär medtogs till varje intervju. Ordningen på frågorna och hur de ställdes anpassades till situationen. Intervjumetoden som användes kallas för en kvalitativ semistrukturerad forskningsmetod (Bryman och Bell 2017). Syftet med intervjuerna var att få information kring sådana faktorer som skulle kunna påverka resultatet.

### 3.3 Statistik

Det statistiska programmet Minitab (version 18) har använts för den statistiska analysen. Den insamlade datan analyserades i två steg. Första steget var att bedöma om det fanns någon statistisk signifikant skillnad mellan de olika behandlingarna (grus, sand och kalk). Detta gjordes genom att använda variansanalysmetoden One-way ANOVA (Analysis of variance).

Nästa steg var att ta reda på vilka specifika behandlingar som skilde ut sig statistiskt från de andra behandlingarna. Detta gjordes genom att använda Tukey's test för parvisa jämförelser, där skillnaden mellan två grupper i taget jämförs.

Vid blockförsök bildas block av försöksenheter som är så lika varandra som möjligt, vilket medför att blocken är så olika varandra som möjligt (Olsson et al. 2005). Fördelen med att använda blockförsök är att jämförelserna mellan behandlingarna kan göras med större precision eftersom de görs med någorlunda enhetliga förutsättningar. Ingen anledning fanns att tro att blocken skiljde sig åt vare sig vad gällde gödselbelastning, markförhållanden eller klimatfaktorer som kunde påverka uteviselsen. Därmed uteslöts faktorn block i analysen. De olika behandlingarna fördelades ut slumpmässigt bland de nio rasthagarna.

Signifikansnivån sattes till  $p < 0,05$  och datan antogs vara normalfördelad.

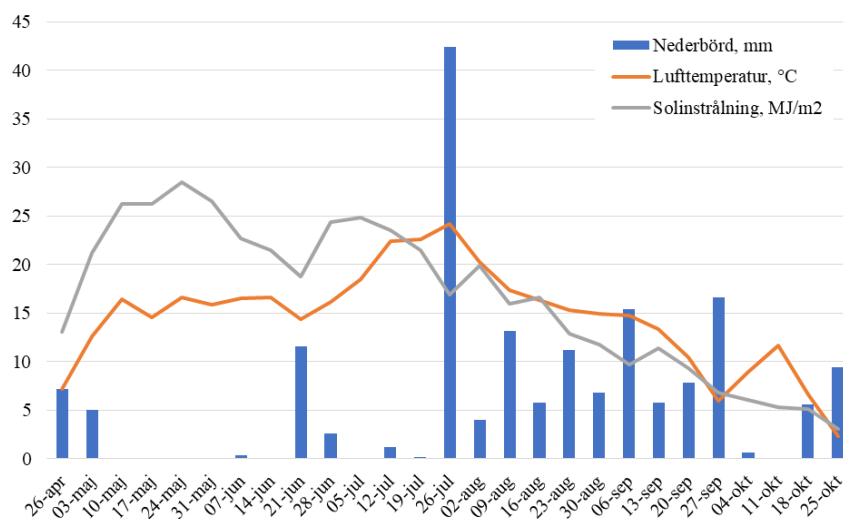


## 4 Resultat

### 4.1 Fältstudie på Lövsta forskningsstation

#### 4.1.1 Väderdata under försöksperioden

Väderdata från väderstationen Uppsala Funbo-Lövsta visar att den mesta nederbörden kom under andra halvan av försöksperioden (figur 17). Alla prover togs visserligen under tak men eftersom taket var litet så kan det inte garanteras att materialen inte påverkats av vädret. Ett flöde av vatten från sidan kan till exempel ha skett, särskilt under det kraftiga nederbördstillfället runt den 26 juli. När prover togs vid försökets slut var materialen fuktiga. Under perioden 3 maj till 25 oktober uppmättes vid väderstationen Uppsala Funbo-Lövsta 181 mm nederbörd (LantMet).

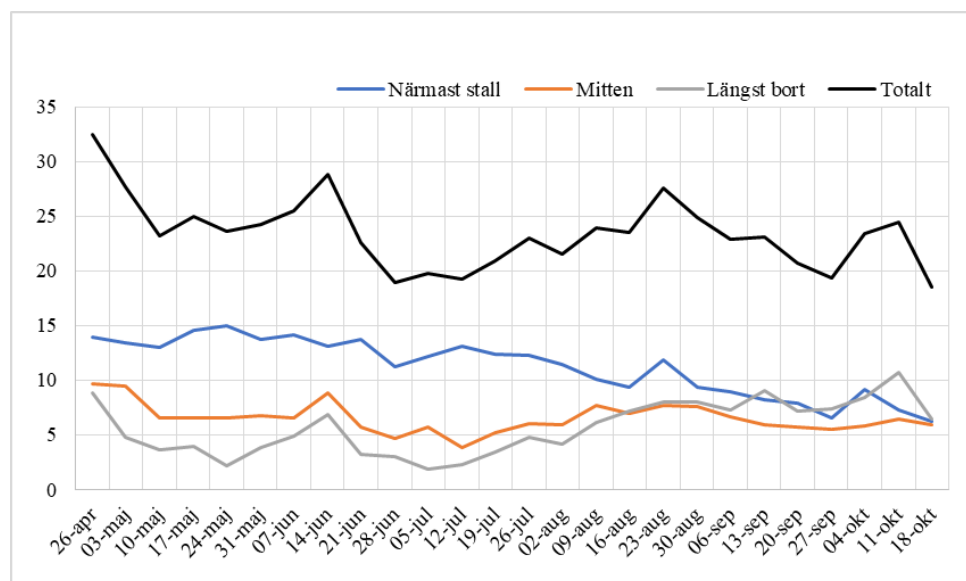


Figur 17. Väderdata från väderstationen Uppsala Funbo-Lövsta i form av nederbörd (mm), lufttemperatur (°C) och solinstrålning (MJ/m<sup>2</sup>). Något omarbetad figur från Lotten Wahlund, RISE.

#### 4.1.2 Utevistelse hos hönsen

Generellt har hönsens utevistelse varit frekvent, vilket kan bero på den ovanligt varma sommaren. Hönsen vande sig snabbt vid utemiljön och verkade trivas med att picka och bada på ytorna med sand och kalk, men även på gruset vistades många höns. Det var ingen skillnad i utevistelse mellan förmiddag och eftermiddag. Det var heller ingen skillnad i utevistelse beroende på sand, kalk eller grus, enligt de inventeringar som gjordes (muntlig källa, Eva Salomon, RISE, 5/2 2019) Vädret påverkade dock hur mycket hönsen var ute, och eftersom hagarna låg åt söder blev det mycket soligt och torrt periodvis. Efter det kraftiga nederbördstillfället den 26 juli ökade utevistelsen. Vegetationen var helt borta i hela hagen efter bara några veckor och ytan bearbetades relativt kraftigt av hönsen.

En skillnad som kunde observeras var att ett större antal höns uppehöll sig på ytan närmast stallet jämfört med ytan i mitten och ytan längst bort i början av säsongen (figur 18). Denna skillnad planade ut efter att försöket pågått i fyra månader. Skillnaden kan eventuellt bero på att det under första halvan av försöket var mycket varmt och torrt för att senare i försöket bli lite svalare och med mer regn (figur 17). Hönsen kan helt enkelt ha tyckt att det var för varmt och därför inte rört sig lika långt ut i rasthagen. Utevistelsen låg på i genomsnitt 30 %.

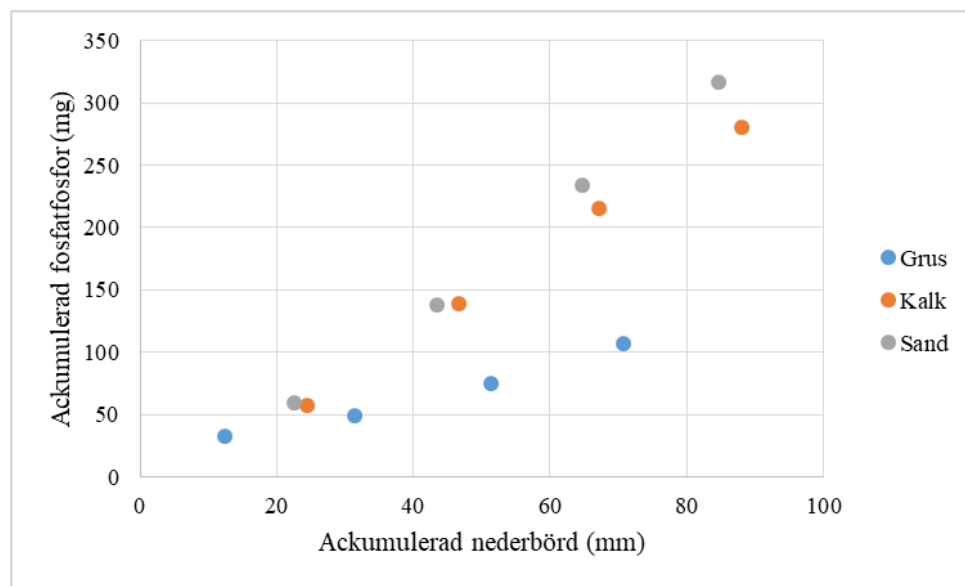


Figur 18. Antal höns ute totalt och på de olika ytorna i rasthagen under hela försöksperioden. Något omarbetad figur från Lotten Wahlund, RISE.

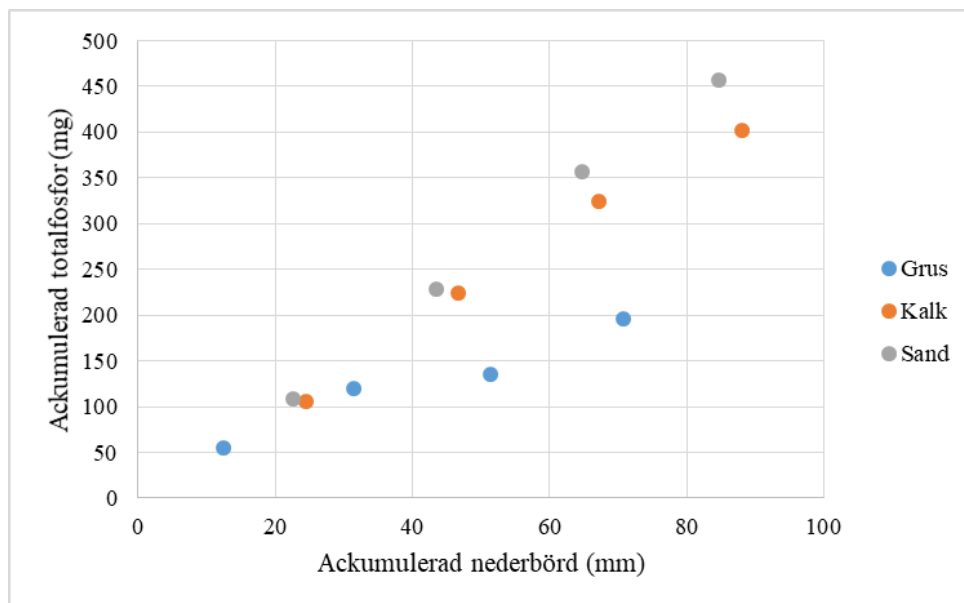
### 4.1.3 Bevattning och avrinning

Resultatet från bevattningsstudien, efter fyra bevattningstillfällen, visade en summaavrinning på 71 mm för gruset, 84 mm för sanden och 88 mm för kalken (figur 19 och 20). Den statistiska analysen visar att grus fick mindre vatten jämfört med kalk och sand, trots att försöket planerades för att de skulle få lika mycket vatten.

Betraktas mängden ackumulerad fosfatfosfor och totalfosfor som har lakats ut från grus-, kalk- och sandcylindrarna så syns det tydligt att det har lakats ut betydligt mer från kalk- och sandcylindrarna än gruscylindrarna, vilket delvis har sin förklaring i den mindre mängden vatten i gruscylindrarna. Den totala mängden fosfatfosfor som lakades ut var 107 mg för grus, 280 mg för kalk och 307 mg för sand. Motsvarande siffror för totalfosfor var 196 mg för grus 402 mg för kalk och 457 mg för sand.

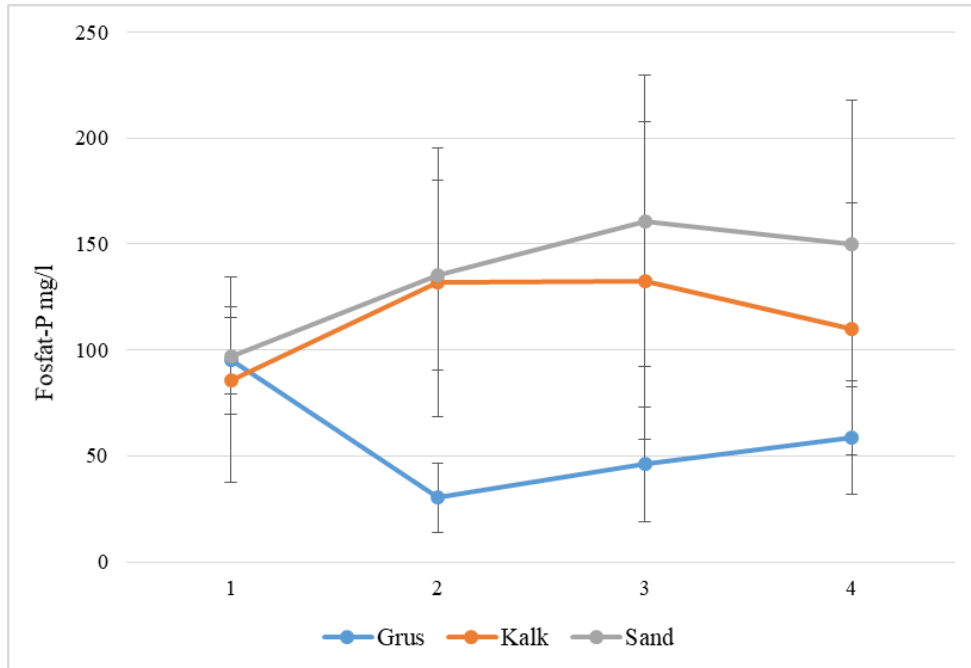


Figur 19. Ackumulerad utlakad fosfatfosfor för behandlingarna grus, kalk och sand efter varje bevattningstillfälle. Observera den både lägre mängden utlakad fosfatfosfor och utlakat vatten från gruscylindrarna.

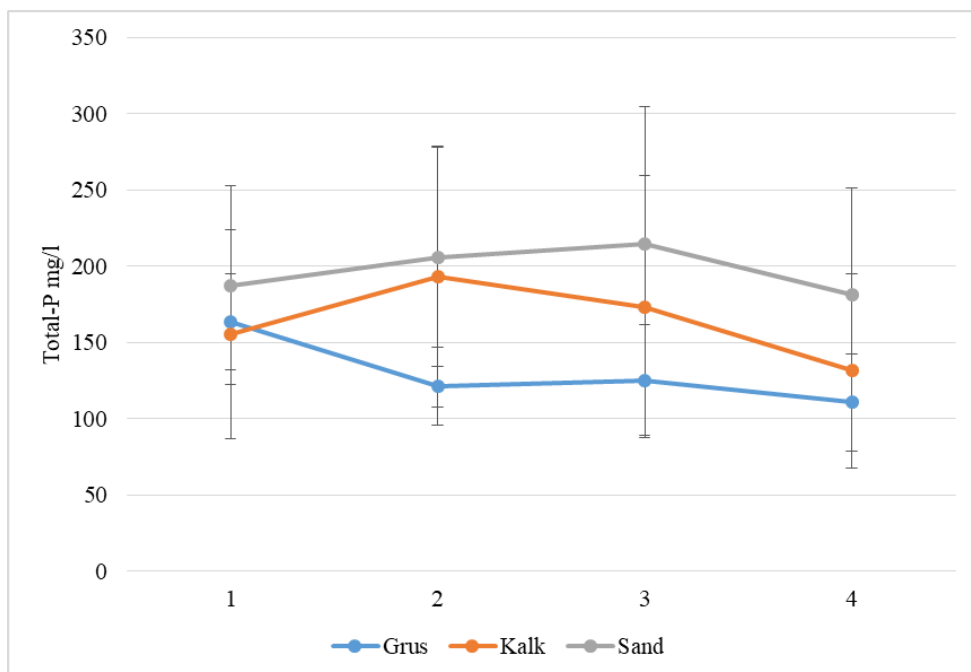


Figur 20. Ackumulerad utlakad totalfosfor för behandlingarna grus, kalk och sand efter varje bevattningstillfälle. Samma trend som för ackumulerad utlakad fosfatfosfor kan observeras för ackumulerad utlakad totalfosfor.

Granskas koncentrationen fosfatfosfor och totalfosfor som har lakats ut vid de olika bevattningstillfällena syns det att utlakningsvattnet från gruset innehöll både lägst koncentration fosfatfosfor och totalfosfor i förhållande till utlakningsvattnet från sanden och kalken (figur 21 och 22). Skillnaden var störst för fosfatfosfor med ett medelvärde från alla fyra bevattningarna på 58 mg/l för grus respektive 115 mg/l för kalk och 136 mg/l för sand. Standardavvikelsen visar dock stor spridning även inom samma behandling, vilket kan bero både på att bevattningen varierade, men framförallt på att variationen i gödselns fördelning ute i rasthagarna troligen var väldigt stor. Värdena från bevattningsstudien visade även att sanden hade något högre koncentration jämfört med kalken i både fosfatfosfor och totalfosfor (se 22 och 23). Den statistiska analysen visar att det är en statistiskt säkerställd skillnad mellan grus-sand och grus-kalk (tabell 1). Dock är det inte någon statistisk säkerställd skillnad mellan sand-kalk.



Figur 21. Koncentrationen fosfatfosfor i mg/l vid de fyra bevattningstillfällena för behandlingarna grus, kalk och sand.



Figur 22. Koncentrationen totalfosfor i mg/l vid de fyra bevattningstillfällena för behandlingarna grus, kalk och sand.

Tabell 1. Statistisk skillnad i koncentration fosfatfosfor och totalfosfor mellan grus (G), kalk (K) och sand (S) vid de olika bevattningsomgångarna, samt medel av samtliga bevattningsomgångar. Olika bokstav betyder statistiskt säkerställd skillnad, där A är större än B.

Bevattning	PO4-P mg/l			Tot-P mg/l		
	G	K	S	G	K	S
1	A	A	A	A	A	A
2	B	A	A	A	A	A
3	A	A	A	A	A	A
4	A	A	A	A	A	A
Medel	B	A	A	B	AB	A

Det vatten som lakats ut från gruscylindrarna hade mycket mörkare färg och var grumligare jämfört med det utlakade vattnet från kalk- och sandcylindrarna (figur 23). Det utlakade vattnet från gruscylindrarna luktade även väldigt starkt till skillnad från utlakningsvattnet från kalk- och sandcylindrarna. Gasutveckling hade även bildats i vattenproven från gruscylindrarna. Trots detta hade grusets utlakningsvatten lägst koncentration avseende både fosfatfosfor och totalfosfor (figur 21 och 22).



Figur 23. Färg på vattnet efter att ha runnit igenom cylindrarna med material. Från vänster: Kalk, sand och grus.

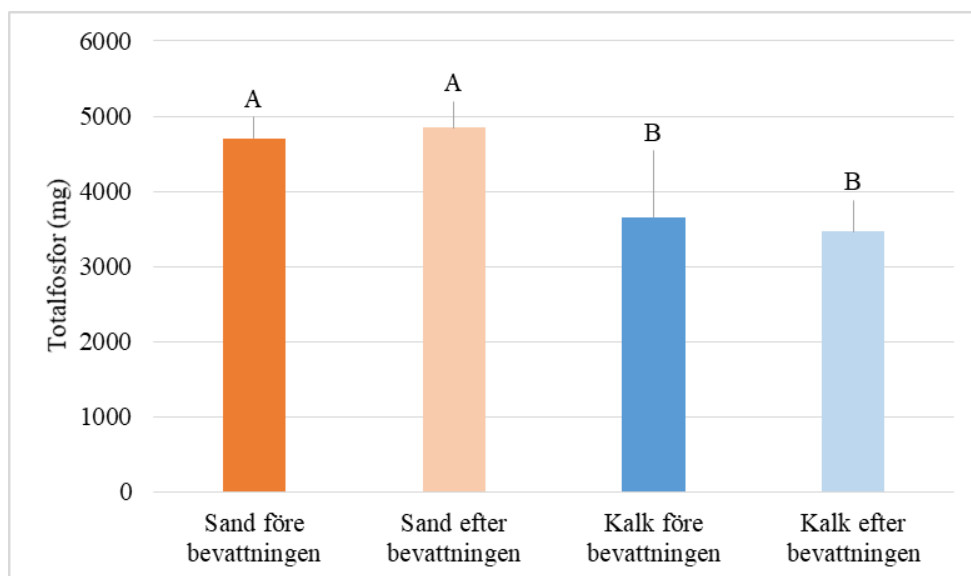
Vid mätning av pH i utlakningsvattnet visade grus på en stor förmåga att buffra då svavelsyra tillsattes, medan sand och kalk istället visade på en mycket låg buffringskapacitet (tabell 2).

Tabell 2. pH i utlakningsvattnet från grus-, sand- och kalkcylindrarna. A och B står för de två provtagningarna i vardera rasthage.

Utlakningsvatten från cylindrarna	pH	pH vid tillsats av svavelsyra
Grus 1A	8	7
Grus 1B	8	7
Grus 2A	8	6
Grus 2B	8	7
Grus 3A	8	6
Grus 3B	7	6
Sand 1A	8	1
Sand 1B	8	6
Sand 2A	7	1
Sand 2B	7	1
Sand 3A	7	1
Sand 3B	7	1
Kalk 1A	7	1
Kalk 1B	7	1
Kalk 2A	7	1
Kalk 2B	7	1
Kalk 3A	7	1
Kalk 3B	7	1

#### 4.1.4 Den totala mängden fosfor i kalk- och sandcylindrarna

Vid den statistiska analysen framgick det att medelvärdet av den totala mängden fosfor i kalk- och sandcylindrarna före bevattningsförsöket skilde sig åt (figur 24). Medelvärdet av den totala mängden fosfor före respektive efter bevattningsförsöket skiljde sig däremot inte åt. Granskas varje enskild cylinder fanns det cylindrar där fosforhalten var högre efter bevattningen, vilket troligen beror på den stora variationen i materialen och i de prov som togs ut för analys. Det går alltså inte att se att bevattningsförsöket påverkat fosforinnehållet i materialen. I genomsnitt lakades endast 7 % av den totala mängden fosfor ut i materialen. Det var inte möjligt att mäta den totala mängden fosfor i gruset eftersom det inte gick att ta ut en sådan exakt mängd p.g.a. grusets grova struktur.



Figur 24. Medelvärde av den totala mängden fosfor i kalk- och sandcylindrarna, före respektive efter bevattningsförsöket. Den statistiska analysen visar att det var skillnad mellan sand och kalk. Olika bokstav betyder statistiskt säkerställd skillnad, där A är större än B.

Resultatet från  $\text{CaCl}_2$ -extraktionen visar att kalk- och sandcylindrarna hade ungefär samma totala mängd fosfatfosfor (tabell 3). Spridningen mellan cylindrarna inom samma behandling är dock stor. I kalkcylindrarna varierade den totala mängden fosfor mellan 37 mg och 174 mg och i sandcylindrarna mellan 54 mg och 215 mg. Av den totala mängden fosfatfosfor lakades det i medeltal ut 40 %. Variationen var dock stor även här och i en cylinder lakades det till och med ut mer än vad som  $\text{CaCl}_2$ -extraktionen visade fanns tillgängligt.

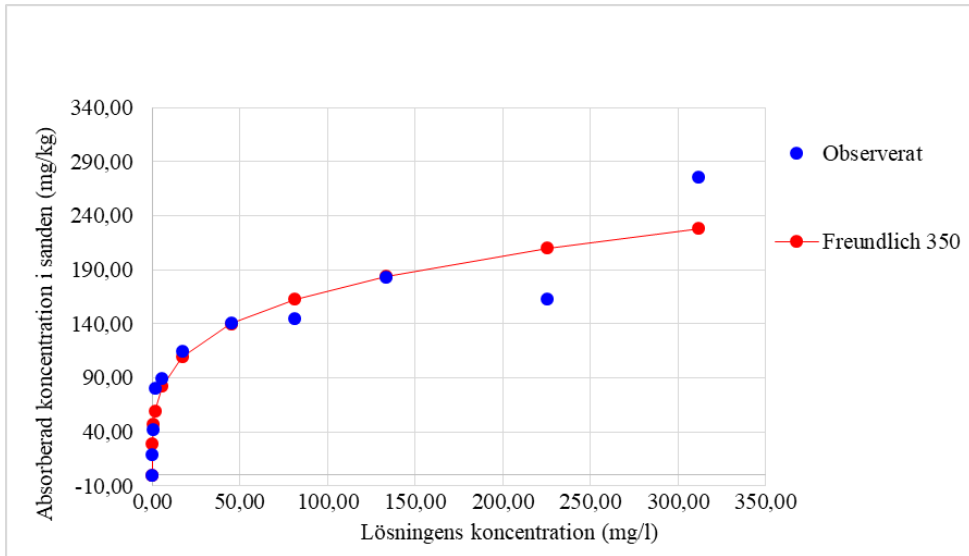


Tabell 3. Mängd fosfatfosfor utlakat i mg per cylinder jämfört med totala mängden fosfatfosfor i mg per cylinder. A och B står för de två provtagningarna i vardera rasthage.

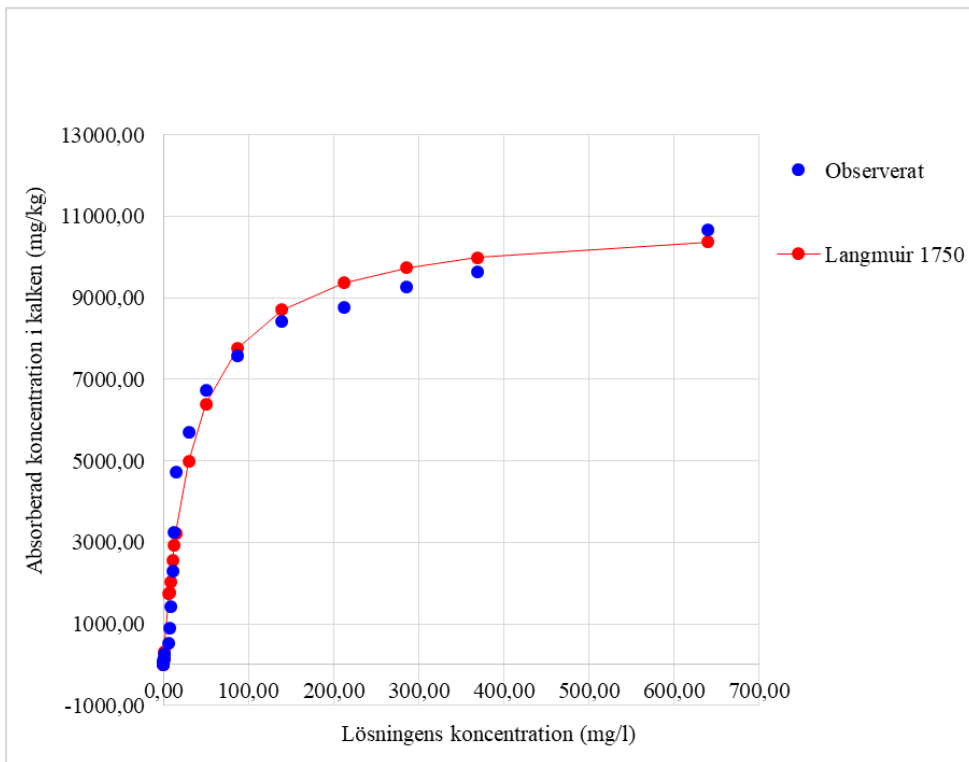
Cylinder	Mängd fosfatfosfor utlakat (mg per cylinder)	Total mängd fosfatfosfor (mg per cylinder extraherat med CaCl <sub>2</sub> )
Kalk 1A	63	170
Kalk 1B	96	174
Kalk 2A	15	37
Kalk 2B	80	136
Kalk 3A	57	87
Kalk 3B	31	52
Sand 1A	73	215
Sand 1B	75	204
Sand 2A	58	54
Sand 2B	66	196
Sand 3A	54	122
Sand 3B	31	139

#### 4.1.5 Test av fosforbindningsförmåga hos materialen

Resultatet från sorptionstestet visar att halterna av fosfatfosfor som uppmättes i dräneringsvattnet för kalken i medeltal ligger på ca 115 mg/L. Används detta medelvärde från kalken kan en bindningsförmåga för fosfatfosfor avläsas i kurvan till ca 9000 mg/kg för kalken och knappt 200 mg/kg för sanden (figur 25 och 26). Kalkens förmåga att binda fosfor var alltså ca 50 gånger större jämfört med sanden, enligt testet. Materialet som togs in från rasthagarna innehöll ca 1000 mg/kg. Därigenom borde kalken kunna motstå läckage eftersom att sorptionskapaciteten långt ifrån var nådd. Dock fanns det inget som tydde på att kalken band fosfor bättre än sanden i fältstudien eftersom halterna i dräneringsvattnet var likartade mellan sanden och kalken.



Figur 25. Sandens förmåga att binda fosfatfosfor. Något omarbetad figur från Kathrin Hesse.



Figur 26. Kalkens förmåga att binda fosfatfosfor. Något omarbetad figur från Kathrin Hesse.

#### 4.1.6 Beräkning av fosforbelastningen på ytan närmast stallet

I fältstudien på Lövsta visade marklabbs analys att materialen innehöll runt 4 000 mg fosfor (figur 24) på en cylinderarea av 0,02855 m<sup>2</sup>. Materialen i cylindrarna som bevattnades hade ett skikt på 20 cm tjocklek, vilket var lika tjockt som det material som lades ut i rasthagarna. Arealen på materialet i rasthagarna var 3,5 \* 3,5 m = 12,25 m<sup>2</sup>. Fosforbelastningen på materialet blir då  $4 \text{ g} / (0,02855 \text{ m}^2 * 12,25 \text{ m}^2) = 1,7 \text{ kg}$  fosfor totalt.

Ekologiska höns ger vid fullbesättningsstorlek (18 000) upphov till 3200 kg fosfor. Normalt har hönsen tillgång till utevistelse ungefär halva året. Om vi räknar med att hönsen är ute ungefär hälften av tiden de har tillgång till utevistelsen, får vi en väldigt god utevistelse som stämmer bra överens med den siffra som Kratz i sin studie (2002) kom fram till, att upptill 60 % av den totala mängden höns gödsel hamnar i rasthagen. Detta ger en fosforbelastning i hela rasthagen på  $3200 \text{ kg} / 4 = 800 \text{ kg}$  fosfor. Om vi uppskattar att hälften av gödseln hamnar på ytan närmast stallet, vilket är ett rimligt antagande utifrån Kratzs studie (2004) och Wiedemans studie (2018), då ger det en fosforbelastning på 400 kg fosfor på ytan utanför stallet. I fältförsöket på Lövsta hade vi tillgång till 75 höns och inte 18 000 höns, vilket ger en fosforbelastning på  $(400 / 18\,000) * 75 = 1,7 \text{ kg}$  fosfor. Detta stämmer med den fosforbelastning som faktiskt mättes upp i studien på Lövsta, vilket tyder på att rimliga antaganden har gjorts vid beräkning av fosforbelastningen på ytan utanför stallet i den här studien. Något som är viktigt att påpeka är dock att Lövstastudien hade en mycket god utevistelse. I en verklig besättning är enligt erfarenhet utevistelsen betydligt lägre (muntlig källa, Malin Lovang, Lovang Lantbrukskonsult AB, 22/3-2019).

## 4.2 Studie av läckage från rasthagar på gårdar

Den nederbördsfattiga hösten och vintern gjorde att det inte var möjligt att provta i dräneringsvattnet från gårdarna i Östergötland. Intervjuerna som genomfördes med respektive lantbrukare visar dock på stor spridning mellan gårdarna vad gäller; djup på dräneringsmaterial, djup ner till dräneringen, byte av material närmast stallet och även hur länge produktionen varit verksam (tabell 4). Till exempel fanns det både de lantbrukare som bytte de översta cm av materialet närmast stallet inför varje ny omgång och de lantbrukare som aldrig gjort det. Även djupet ner till dräneringen varierade, där det på en gård låg på 2 m djup och på en annan gård på 0,5 m djup.

Tabell 4. Frågor till lantbrukarna kopplade till ytan närmast stallet.

	Lantbrukare 1	Lantbrukare 2	Lantbrukare 3	Lantbrukare 4
Antal år med utehöns	10	16	8	7
Jordart i rasthagen	Styv mullhaltig lera	Styv lera	Lera	Lättlera
Djup på dräneringsmaterial	60 cm	1 m	0,5-1,5 m	0,5 m
Djup ner till dräneringen	2 m	1,5 m	60-70 cm	60 cm
Byte av dränerande material	1 gång	översta 3 cm byts inför varje ny omgång	Nej	översta 10 cm byts inför varje ny omgång

## 5 Diskussion

### 5.1 Fältstudie på Lövsta forskningsstation

#### 5.1.1 Fosforbindningsförmåga i materialen

Hönsens utevistelse på Lövsta skilde sig inte åt mellan rasthagarna utan belastningen kan antas ha varit den samma på alla tre olika material. Den större mängden ackumulerad fosfatfosfor och totalfosfor i milligram som har lakats ut från kalk- och sandcylindrarna jämfört med gruscylindrarna kan därför tyda på att kalken och sanden hade bättre förmåga jämfört med gruset att binda och hålla kvar fosfor under säsongen (figur 19 och 20). Detta då den större mängden utlakat fosfatfosfor i kalken och sanden visar att dessa material har lyckats hålla kvar en större mängd fosfor jämfört med gruset ute i rasthagarna. Det beror troligen på att gruset i rasthagarna har släppt igenom mer fosfor, redan innan materialet togs in på labb, eftersom grus genom sin grova struktur ger upphov till större porer i förhållande till sanden och kalken och inte kan förväntas ge något som helst fysiskt eller kemiskt bindande skydd. Genom porer i gruset kan sedan fosforrikt vatten passera relativt snabbt, vilket leder till att fosfor i vattnet inte hinner binda till jordpartiklar utan följer med vattnet ner till marken under och vidare till dräneringen. I sanden och kalken med finare struktur är porerna mindre, vilket bromsar upp vattnets framfart och mer fosfor hinner således binda till jordpartiklar, eller kan ligga kvar i porvolymen. Materialen som skulle användas i studien togs visserligen under tak, men det kan ha skett vattenflöden från sidan.

Dock visar även resultatet att gruscylindrarna bevattnades med en mindre mängd vatten jämfört med kalken och sanden (figur 19 och 20). Detta då det i medeltal lakades ut 71 mm i gruscylindrarna, vilket var ca 18 % mindre jämfört med kalken (88 mm) och sanden (84 mm). Orsaken till detta är säkerligen att bevattningsanläggningen inte vattnade helt jämt, då munstyckena till duschen vattnade så pass fint att

kalkflagor lätt kunde sätta igen hålen som vattnet kom igenom. Cylindrarna roterades inte utan hade sin bestämda plats genom hela försöket. Det kan då ha slumpat sig så att vissa av gruscylindrarna hamnade på de platser som bevattnades mindre. Glappet i milligram utlakad fosfatfosfor är dock så pass stort mellan gruset (107 mg) upp till kalken (280 mg) och sanden (317 mg) att den lilla mängden förlorat vatten inte kan förklara hela skillnaden. Samma glapp mellan gruset upp till sanden och kalken kunde även konstateras för utlakad totalfosfor, där det mättes upp 196 mg från gruset, 402 mg från kalken och 457 mg från sanden.

De högre koncentrationerna fosfatfosfor och totalfosfor i utlakningsvattnet från kalken och sanden jämfört med gruset tyder även de på att kalken och sanden har bättre förmåga att hålla kvar och binda fosfor jämfört med gruset (figur 21 och 22).

Orsaken till att sanden som togs in från rasthagarna hade så pass högre koncentration i utlakningsvattnet jämfört med utlakningsvattnet från kalken kan möjligen bero på att kalken bildade en stor sammanhängande kaka när materialet låg ute i rasthagen. Även om kakan var mycket mjuk och porös så kan det ändå ha lett till att hönsen hade det svårare att blanda runt kalken jämfört med sanden. En bättre omblandning i sanden kan i sin tur ha gjort att fler ytor i sanden blivit tillgängliga för fosfor att binda till.

En annan förklaring till den högre koncentrationen i sanden kan kanske vara att hönsen föredrog sanden framför kalken. Hönsen som hade tillgång till sand uppehöll sig möjligen där under en längre tid än motsvarande höns som hade tillgång till kalk istället, vilket lett till mer gödsel i sanden jämfört med kalken. Resultatet från analysen av totalfosfor i materialen styrker misstanken genom att visa på större mängd totalfosfor i sandcylindrarna jämfört med kalkcylindrarna före bevattningsförsöket (figur 24). Anledningen till att vissa cylindrar visade sig innehålla mer totalfosfor efter bevattningen än före kan bero på att endast en mycket liten andel av den totala mängden fosfor i cylindrarna lakades ut (tabell 3) och att provens variation var större än skillnaden före-efter. I genomsnitt lakades endast 7 % av den totala mängden fosfor ut.

Dock tyder inget i resultatet från utevistelsen på att fler höns skulle uppehålla sig på sanden jämfört med kalken. Hönsen räknades två gånger per dag i vardera sektion i rasthagen. Ett tätare intervall på räkningen skulle kanske ha visat på en högre belastning på sanden jämfört med kalken. Två prov togs från varje material i vardera rasthage. Resultatet visar att det även skilde sig en del mellan proverna tagna i samma rasthage. Ett större provantal från varje material hade gett ett tydligare resultat över skillnaden mellan materialen.

Vid två tillfällen har det dessutom fyllts på med nytt material (läs mer under metoden) eftersom det bildades gropar i materialen när hönsen bearbetade och sprätte i materialen. Detta kan leda till att resultatet blir mer osäkert. Eftersom det fyllts på med olika stor mängd material i de olika rasthagarna, vilket gör att vissa

rasthagar har mindre material än andra rasthagar men lika stor belastning av gödsel. Det har till exempel fyllts på med mer sand än kalk i rasthagarna, något som kan leda till att sandens utlakningsvatten får lägre värde än det borde fått egentligen. Detta eftersom gödseln sprids ut på en större mängd material.

En annan förklaring till den högre totalfosforhalten i sanden jämfört med kalken kan bero på att kalken inte bundit till sig så mycket fosfor som det var tänkt. Resultatet från pH-mätningen efter tillsats av svavelsyra visar att utlakningsvattnet från kalken har betydligt sämre buffringskapacitet jämfört med utlakningsvattnet från gruset. Dräneringsvattnet från gruset hade å andra sidan mycket hög buffringskapacitet, vilket troligen beror på att mer organiskt material fanns med i utlakningsvattnet jämfört med utlakningsvattnet från sanden och kalken. Provflaskorna fick stå i ca två veckor innan pH-mätning genomfördes, något som kan ha påverkat resultatet. Den låga buffringskapaciteten i kalkens dräneringsvatten tyder på att ytterst lite  $\text{CaCO}_3$  har lossnat från kalkstensmjölet och funnits fritt tillgängligt i utlakningsvattnet. Kalkning är en gammal men fortfarande vanlig metod för att höja pH i åkermarken (Eriksson et al. 2011). Vid kalkning kan exempelvis kalciumkarbonat tillföras ( $\text{CaCO}_3$ ). När kalken kommer i kontakt med vatten frigörs kalcium och vätekarbonat, kvar blir hydroxidjonen som höjer pH (Naturvårdsverket 2010). Genom pH-höjningen förändras markens kemiska, biologiska och fysikaliska egenskaper, i en riktning som är positiv för växten (Eriksson et al. 2011). En pH-höjning över 7 leder till att fosfor blir mindre utlakningsbenäget eftersom det i större utsträckning binder till  $\text{Ca}^{2+}$ .

Dock visar resultatet från sorptionstestet att kalken hade betydligt bättre förmåga jämfört med sanden att binda fosfor. Anledningen till att resultaten från fältstudien och sorptionstestet varierade så pass mycket kan bero på flera faktorer. För det första är det oklart hur beständig bindningen i kalken är. Sorptionstestet pågick i ett dygn med konstant temperatur och utan påverkan från yttre faktorer jämfört med materialen i rasthagarna som var utsatta för yttre faktorer i runt ett halvår. För det andra togs kalken och sanden som användes i sorptionstestet från nytt material som inte legat ute i rasthagarna.

Ytterligare en orsak till skillnaden skulle kunna vara att hönsgödsel har högt pH och naturligt hög Ca-halt eftersom värphönsen får kalk i fodret (Jordbruksverket 2016). I fastgödsel kan Ca-halten vara så hög som 95 g/kg ts (Salomon et al. 2006). Motsvarande siffra för fosfor var 18 g/kg i Salomons studie (2006). Den höga Ca-halten i gödseln kan leda till att skillnaden mellan sand och kalk suddas ut genom att sandens Ca, från gödseln, också binder fosfor. Denna metod att testa fosforbindningsförmågan på labb verkar inte gå att applicera på förhållandena som råder ute i rasthagarna, vid användning av kalk och sand som fosforbindande material.

### 5.1.2 Organiskt material i utlakningsvattnet från gruset

Den starka lukten och mörka färgen från grusets utlakningsvatten kan komma från organiskt material i gödseln (figur 23). Anledningen till att utlakningsvattnet från sanden och kalken varken luktade lika starkt och inte heller hade lika mörk färg som gruset kan bero på att kalken och sanden fungerade som ett fysiskt filter och höll kvar partiklar. När sanden och kalken sedan bevattnades kraftigt kunde dock materialen inte hålla kvar fosfor men bromsade ändå transport av organiskt material. Detta ledde i sin tur till att utlakningsvattnet från kalken och sanden innehöll en mindre mängd organiskt material jämfört med utlakningsvattnet från gruset.

Ytterligare orsaker till den mörka färgen i utlakningsvattnet från gruset skulle möjligen kunna vara att gruset som lades på när huset byggdes, under dessa år fått in damm från närliggande åkrar och vägar till skillnad från kalken och sanden som lades på strax innan försöket inleddes. Den mörka färgen från grusets utlakningsvatten kan även bero på att jord kommit med vid provtagningen. Sanden och kalken lades ovan på gruset med en markduk emellan medan gruset redan låg direkt på marken utan markduk emellan. Detta gjorde att gruset hamnade närmare jorden jämfört med kalken och sanden, vilket ökar risken att jord i större utsträckning kom med vid provtagning av gruset än vid provtagning av kalken och sanden.

Gasutvecklingen som uppkom i vattenproverna från gruset beror förmodligen på att organiskt material i syrefri miljö bildat mestadels metangas men även nitrösa gaser och svavelsulfid. Det tyder på att det mörka materialet till stor del var gödsel.

### 5.1.3 Fosforbelastning på ytan närmast stallet

Resultatet från denna pilotstudie visar att dessa material inte verkar ha någon större betydelse för att förhindra fosforläckage från ytan närmast stallet. När materialen utsattes för kraftigt regn var det inget material som klarade av att hålla kvar tillräckligt stor mängd fosfor för att undvika höga koncentrationer i utlakningsvattnet. Ändå var det endast 7 % av den totala mängden fosfor i materialen som hamnade i utlakningsvattnet. Vi vet heller inte hur materialen skulle ha reagerat ifall de utsatts för ytterligare bevattning, efter att den mest lösliga fosfor lakats ut.

Det verkar framför allt vara det fysiska skyddet snarare än det kemiska skyddet som fördröjer utlakningen av fosfor. Detta då sand och kalk var signifikant bättre på att hålla kvar fosfor jämfört med grus och ingen större skillnad mellan sand och kalk kunde observeras i bevattningsstudien. Belastningen är så pass hög på denna yta i rasthagen att materialen måste bytas varje år för att fungera som metod för att minska upplagringen av fosfor.

I denna Lövestudie gick hönsen ute under en säsong och vi kunde ändå mäta upp stora mängder fosfor i utlakningsvattnet under det som skulle kunna liknas vid



nederbörden under två månader på hösten i Uppsala (ca 100 mm) (SMHI 1991). Koncentrationen fosfatfosfor i utlakningsvattnet från cylindrarna blev 58 mg/l för grus respektive 115 mg/l för kalk och 136 mg/l för sand. I dräneringsvattnet från åkermark brukar koncentrationen fosfatfosfor ligga på 0,01-1 mg/l. Viktigt att poängtera är dock att vi troligen hade fått en betydligt lägre koncentration ifall vi analyserat dräneringsvattnet i fält istället eftersom mycket av fosfor då skulle ha bundit till jordpartiklar på väg ner genom marken. I Lövstastudien var det som bekant bara det ytligaste skiktet som studerades.

Fosforbelastningen på ytan närmast stallet ser förmodligen även olika ut på olika gårdar. Som tidigare nämnts är det många gårdar idag som har byggt en veranda ovan på ytan närmast stallet. Detta torde minska utlakningen av fosfor eftersom taket på verandan gör att en mindre mängd vatten når ytan som sedan kan föra med sig fosfor ner i marken. Trots det kan vi förmodligen förvänta oss en högre belastning på ytan närmast stallet ute på gårdarna jämfört med ytan närmast stallet i Lövstastudien. Detta eftersom rasthagarna ute på gårdarna belastar marken varje år medan Lövstastudien endast undersökte en säsongens belastning. I denna fältstudie var förhållandena annorlunda jämfört med i verkligheten, vilket förstås måste beaktas. Den mindre besättningen på Lövsta kan ha lett till att vi hade en större utevistelse jämfört med vad som är normalt på en stor gård. Utevistelsen hos hönsen i Lövstastudien låg på 30 % medan de flesta andra studier som gjorts ute på gårdar visar på en utevistelse mellan 9-20 % (Chielos 2016; Hegelund 2005; Zeltner och Hirt 2003).

Dessutom hade vi en djurtäthet på 1,2 m<sup>2</sup> per höna jämfört med 4 m<sup>2</sup> som är minimikravet för ekologisk produktion. Därtill kunde inte hönsen i Lövstastudien i sin rasthage på endast 90 km<sup>2</sup> sprida ut sig i lika stor utsträckning, så som hönsen ute på gårdarna har möjlighet att göra i sin betydligt större rasthage på 1,2 ha. Likväl visar forskningen att hönsen inte går så långt ut från stallet, vilket leder till att en stor andel av gödseln hamnar på ytan närmast stallet. Sammantaget torde detta öka upplagringen av fosfor i marken för varje år. Något som är extra viktigt att undvika på jordar som är känsliga för fosforläckage, eftersom detta i det långa loppet kan öka risken för utlakning av fosfor till dräneringsrör och vidare till vattendrag.

## 5.2 Studie av läckage från rasthagar på gårdar

Det uteblivna resultatet från provtagning av dräneringsvattnet i Östergötland gör att endast risken för fosforläckage från gårdarna i Östergötland kommer diskuteras med utgångspunkt från det som framkommit i intervjuerna och från litteraturstudien.

En viktig faktor som ökar risken för fosforläckage är upplagring av fosfor i marken. Lantbrukare 2 har haft höns längst och här borde alltså fosforhalterna i marken

vara som högst (tabell 4). Samtidigt byter lantbrukare 2 de översta 3 cm inför varje ny omgång, vilket borde minska upplagringen av fosfor i marken.

En annan faktor som påverkar risken för fosforläckage är jordarten, där ökande lerhalt även leder till ökad risk för läckage om leran har sprickbildningar. Lantbrukare 1 och 2 har styv lera men dräneringen ligger också som djupast på dessa gårdar, något som borde minska läckaget av fosfor till dräneringen eftersom fosfor får längre sträcka att binda till markpartiklar.

Resultatet från bevattningsstudien visar att grus hade låg förmåga att binda fosfor. Därför blir jordskiktet mellan gruset och dräneringen viktigt för att bedöma läckagerisken. Hos lantbrukare 1 är detta jordskikt ca 1,5 m medan det hos lantbrukare 3 och 4 ser ut som att gruset går hela vägen ner till dräneringen.

### 5.3 Förslag på kompletterande studier

Denna pilotstudie visar att fosforbelastningen från hönsrasthagar på vattenmiljön potentiellt är mycket stor från ytan närmast stallet. Denna yta är en liten del av hela hagen och verkar utgöra en risk för punktbelastning som flera studier pekar på är viktigast att begränsa för att komma till rätta med övergödningen av våra sjöar och hav. Det är dock viktigt att sätta risken i relation till hur stora ytor det handlar om för att få den totala bilden. Sett för hela Sverige handlar det om totalt högst 10 ha, vilket ska jämföras med t.ex. rasthagar för andra djur och läckaget från jordbruksmarken i stort. Genom att provta i dräneringsvattnet ute på gårdar skulle ett svar på hur stort fosforläckaget är från denna yta kunna ges, vilket denna Löfstudie lade en grund för genom att inventera gårdar för provtagning.

Att hitta material som binder fosfor och samtidigt uppfyller krav på god djurhälsa och är användarvänligt har visat sig vara svårt. Sanden och kalken har den fördelen att de efter att ha använts utanför stallet kan spridas på åkern och på så sätt bidra till fosforkretsloppet på gårdsnivå. Ett annat alternativ kan eventuellt vara att byta jordlagret framför stallet. Hur ofta detta behöver ske beror på fosforklass i marken och hur god förmåga jorden i sig själv har för att hålla kvar fosfor.

Då detta projekt har fått anslag för ytterligare ett år är det extra viktigt att analysera vad i detta metodupplägg som bör vara kvar och vad som kan förbättras. Något som skulle vara intressant att undersöka är vad som händer om materialen utsätts för ytterligare bevattning. Kanske skulle tydligare skillnader mellan sanden och kalken kunna observeras då?

Löfstudien skulle kunna byggas på med jordprovtagning i marken under ytan som skulle kunna jämföras med jordprover tagna utanför rasthagen, för att därigenom få en uppfattning om hur fosforinnehållet i marken påverkas och kunna koppla det till utlakningen.

En faktor som skulle stärka Lövstastudiens trovärdighet är att ha flera rasthagar att provta i för att därigenom få fram ett starkare samband. Dock ingår det levande djur i studien som kräver skötsel under försökets gång och riskerar att avlivas efter att försöket slutförts om inget nytt hem kan hittas till dem. I försöket användes nio rasthagar med 75 värphöns i varje, vilket ger 675 st höns. Genom att även använda rasthagarna på baksidan, av stallet på Lövsta (figur 4), skulle dubbelt så många rasthagar finnas med i försöket, vilket skulle ge ett starkare statistiskt samband men samtidigt kräva dubbelt så många höns.

En annan faktor som skulle kunna leda till ett mer tillförlitligt resultat är att antingen laga den befintliga regnsimulatorens så den bevattnar jämt eller använda någon annan metod för att bevattna cylindrarna. Detta borde vara en viktig och relativt lätt åtgärd att genomföra.

En helt annan metod som nämnts i projektet för att minska fosforbelastningen på ytan närmast stallet är att leda dräneringsvattnet till en gödselbrunn. Denna metod anses idag dock vara relativt kostsam för producenten eftersom många av dem i dagsläget inte har en gödselbrunn. Här behövs det mer studier för att utröna om denna metod, på vissa platser, kanske är bättre att använda för att förhindra fosforutlakning jämfört med att använda sig av fosforbindande material.

## 6 Slutsats

- Fosforbelastningen från hönsrasthagar på vattenmiljön, är potentiellt mycket stor, från ytan närmast stallet. Koncentrationen av fosfatfosfor i utlakningsvattnet från cylindrarna i bevattningsstudien blev 58 mg/l för grus respektive 115 mg/l för kalk och 136 mg/l för sand
- Grus var sämre på att binda och hålla kvar fosfor i ytskiktet jämfört med sand och kalk ute i rasthagarna
- Både sanden och kalken fungerade som ett fysiskt skydd mot läckage under utsäsongen, men inget av materialen verkade hålla kvar fosfor när det utsattes för bevattning.
- Materialen måste troligen bytas varje år för att fungera som skydd mot fosforbelastning på den underliggande marken
- Provtagning i dräneringsvattnet ute på gårdar kan ge svar på hur stort läckaget av fosfor är från ytan närmast stallet

## Tack!

Det finns många jag vill tacka som hjälpt mig med mitt examensarbete. Till att börja med vill jag tacka min engagerade och tålmodige handledare Helena Aronsson för alla timmar då vi suttit och klurat på innehåll i uppsatsen och tolkning av det inte alltid så lätt förståeliga resultatet. Jag vill även tacka min biträdande handledare Malin Lovang för alla viktiga inputs och noggranna granskning av uppsatsen. Jag känner mig lyckligt lottad att ha fått ha så kompetenta, stötande och snälla handledare.

Jag vill även tacka Lotten Wahlund, Eva Salomon och Åsa Odelros för att jag fick skriva mitt examensarbete inom pilotprojektet ”Det är inne att vara utehöna”. Särskilt tack till Lotten för figurerna och bilderna som jag kunnat använda i uppsatsen.

Sedan är det ytterligare tre personer som jag vill tacka lite extra. För det första Kathrin Hesse som hjälpt till på labb inom försöket och bland annat gjort sorptions-testet. För det andra Lisbet Norberg för att hon gjort statistiken begriplig och slutligen Maria Blomberg som hjälpt till inför laborationerna.

## Referenslista

- Algoazany, A. S., Kalita, P. K., Czapar, G. F. och Mitchell, J. K. (2007). Phosphorus transport through subsurface drainage and surface runoff from a flat watershed in East Central Illinois, USA. *Journal of Environmental Quality*, Vol. 36(3), ss 681–693. Tillgänglig: <https://dl.sciencesocieties.org/publications/jeq/articles/36/3/681>. [2018-10-29].
- Andersen, D. Steven, Burns, R.T., Moody, L.B., Khanijo, I.K., Helmers, M.J., Pederson, C., Lawrence, J., (2009). Performance of six vegetative treatment systems for controlling runoff from open beef feedlots in Iowa. Tillgänglig: <https://elibrary.asabe.org/azdez.asp?search=0&JID=5&AID=27290&CID=reno2009&v=&i=&T=2>. [2019-02-22].
- Andersson, H. (2016). The role of subsoil properties for phosphorus leaching in agricultural soils. Diss. Uppsala: Sveriges lantbruksuniversitet. Tillgänglig: <https://pub.epsilon.slu.se/13033/> [2019-02-28].
- Beardsley, T. M. (2011). Peak phosphorus. *BioScience*, 61(2), ss 91–91. Tillgänglig: <https://academic.oup.com/bioscience/article/61/2/91/243098>. [Accessed 2019-02-18].
- Beauchemin, S., R.R. Simard, and D. Cluis. (1998). Forms and concentration of phosphorus in drainage water of twenty-seven tile-drained soils. *J. Environ. Qual.* 27:721–728. doi:10.2134/jeq1998.00472425002700030033x. I: Algoazany, A. S., Kalita, P. K., Czapar, G. F. och Mitchell, J. K. (2007). Phosphorus Transport through Subsurface Drainage and Surface Runoff from a Flat Watershed in East Central Illinois, USA. *Journal of Environmental Quality*, Vol. 36, ss. 681-693. Tillgänglig: <https://dl.sciencesocieties.org/publications/jeq/articles/36/3/681>. [2018-10-29].
- Berhane, Y., Hisanaga, T., Kehler, H., Neufeld, J., Manning, L., Argue, C., Handel, K., Hooper-McGrevy, K., Jonas, M., Robinson, J., Webster, R.G. och Pasick, J., (2009). Highly pathogenic avian influenza virus a (H7N3) in domestic poultry, Saskatchewan, Canada, 2007. *Emerg. Infect. Dis.* 15, 1492–1495.
- Bryman, A. och Bell, E. (2017). Företagsekonomiska forskningsmetoder. Uppl. 3. Malmö: Liber AB.
- Cambell, N., Reece, J., Urry, L., Cain, M., Wasserman, S., Minorsky, P. och Jackson, R. (2015). *Biology- A global approach*. 10. Uppl. Edinburgh: Pearson Education.
- Chielo, L. I., Pike, T. och Cooper, J. (2016). Ranging behavior of commercial free-range laying hens. *Animals*, Vol. 6, s. 28. Tillgänglig: <https://www.mdpi.com/2076-2615/6/5/28>. [2019-01-23].
- Condrón, L.M., Turner, B.L. & Cade-Menun, B.J. (2005). Chemistry and dynamics of soil organic phosphorus. In: Sims, J.T. & Sharpley, A.N. (eds.). *Phosphorus: agriculture and the environment. Agronomy Monograph* No. 46. Madison, Wisconsin, ss. 87-121. I: Parvage, Mohammed Masud (2015). Impact of horse-keeping on phosphorus (P) concentrations in soil and water. Diss. Uppsala: Sveriges lantbruksuniversitet.

- Cordell, D. och White, S. (2014). Life's bottleneck: sustaining the world's phosphorus for a food secure future. *Annual Review of Environment and Resources*, Vol. 39(1), ss. 161–188. Tillgänglig: <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-010213-113300>. [2019-02-18].
- Daniel, T.C., Sharpley, A.N., Edwards, D.R., Wedepohl, R., Lemunyon, J.L. (1994). Minimizing surface water eutrophication from agriculture by phosphorus management. *Journal of soil and water conservation*. Vol. 49 s. 30. Tillgänglig: <https://pubag.nal.usda.gov/catalog/20712>. [2019-02-21].
- Delin, S. (2015). Fertilizer value of phosphorus in different residues. *Soil Use and Management*. Vol. 32, ss. 17-26. DOI:10.1111/sum.12227
- Djordjic, F., Bergström, L., Ulén, B. och Shirmohammadi, A. (1999). Mode of transport of surface-applied phosphorus-33 through a clay and sandy soil. *Journal of Environmental Quality*, 28(4), ss. 1273-1282. I: Andersson, H. (2016). The Role of subsoil properties for phosphorus leaching in agricultural soils. Diss. Uppsala: Sveriges Lantbruksuniversitet.
- Djordjic, F. (2001). Displacement of phosphorus in structured soils. Diss. Uppsala: Sveriges lantbruksuniversitet. <http://epsilon.slu.se/avh/2001/91-576-5826-9.fulltext.pdf> [2019-02-28].
- Djordjic, F. och Markensten, H. (2018). From single fields to river basins: Identification of critical source areas for erosion and phosphorus losses at high resolution. *Kungliga vetenskapsakademien*. Tillgänglig: <https://doi.org/10.1007/s13280-018-1134-8> [2019-03-21].
- Domínguez, J., Bohlen, P. J. och Parmelee, R. W. (2004). Earthworms increase nitrogen leaching to greater soil depths in row crop agroecosystems. *Ecosystems*, Vol. 7(6), ss 672–685. Tillgänglig: [http://www.academia.edu/3444549/Earthworms\\_increase\\_nitrogen\\_leaching\\_to\\_greater\\_soil\\_depths\\_in\\_row\\_crop\\_agroecosystems](http://www.academia.edu/3444549/Earthworms_increase_nitrogen_leaching_to_greater_soil_depths_in_row_crop_agroecosystems). [2018-11-04].
- Edwards, W. M. och Owens, L. B. (1991). Large storm effects on total soil erosion. *Journal of Soil and Water Conservation*, Vol. 46(1), ss. 75–78. Tillgänglig: <http://www.jswconline.org/content/46/1/75>. [2018-10-30].
- Eriksson, J., Andersson, A. och Andersson, R. (1999). Åkermarkens matjordstyper – Texture of agricultural topsoils in Sweden. Rapport 4955. Naturvårdsverket, Stockholm, Sverige. I: Villa Solís, A. (2014). Risk Assessment of Erosion and Losses of Particulate Phosphorus. Diss. Uppsala: Sveriges lantbruksuniversitet.
- Eriksson, J., Dahlin, S., Nilsson, I och Simonsson M. (2011). Marklära. Lund: Studentlitteratur.
- Fogelfors, H. (2015). VÅR MAT-Odling av åker och trädgårdsgrödor. Uppl. 1. Lund: Studentlitteratur AB.
- Hahlin M. och Ericsson, J., (1981). Fosfor och fosforgödsling. Aktuellt från Lantbruksuniversitetet nr 294. I: Johnson, B. (1997). Fosfor i växten och marken. Växtpressen. Avs. 4. Tillgänglig: [http://www.vaxteko.nu/html/sll/hydro\\_agri/vaxtpressen/VPN97-4/VPN97-4D.HTM](http://www.vaxteko.nu/html/sll/hydro_agri/vaxtpressen/VPN97-4/VPN97-4D.HTM) [2019-03-19].
- Hegelund, L., Sørensen, J.T., Kjær, J.B och Kristensen, I.S. (2005) Use of the range area in organic egg production systems: effect of climatic factors, flock size, age and artificial cover, *British Poultry Science*, Vol. 1, ss. 1-8, DOI: 10.1080/00071660400023813
- HELCOM. (2011). The Fifth Baltic Sea Pollution Load Compilation (PLC-5). (Balt. Sea Environ. Proc. No. 128). Helsinki, Finland: Helsinki Commission.
- Jensen, Per (1983). Husdjurens beteende. 1 uppl. Stockholm: LTs förlag.
- Jordbruksverket. (2016). Starta eko ägg. Jordbruksverket (Jordbruksinformation 18). Tillgänglig: [https://www2.jordbruksverket.se/download/18.36b894651576a404e02a72a9/1475064474615/JO16\\_18.pdf](https://www2.jordbruksverket.se/download/18.36b894651576a404e02a72a9/1475064474615/JO16_18.pdf) [2019-02-28].

- Jordbruksverket. (2018). Marknadsrapport ägg; utvecklingen till och med 2017. Jönköping (Enheten för handel och marknad). Tillgänglig: <https://www.jordbruksverket.se/download/18.114a33071628876461093046/1522933398420/Marknadsrapport%20%C3%A4gg%202018.pdf> [2018-03-07].
- Jordbruksverket. (2019). Rekommendationer för gödsling och kalkning 2019. Jönköping: Jordbruksverket (Jordbruksinformation, 2018:18).
- Kerschberger, M., Hege, U. och Jungk, A. (1997): Phosphordüngung nach bodenuntersuchung und pflanzenbedarf, VDLUFA-Standpunkt. Darmstadt, Germany. I: I: Kratz, S., Rogasik, J. och Schnug, E. (2004). Changes in soil nitrogen and phosphorus under different broiler production systems. *Journal of Environmental Quality*, Vol. 33, ss 1662–1674. Tillgänglig: <https://dl.sciencesocieties.org/publications/jeq/articles/33/5/1662>. [2018-10-01].
- Kodikara, J.K., S.L. Barbour, and D.G. Fredlund. (2000). Desiccation cracking of soil layers. Proc. Asian Conference in Unsaturated Soils. UNSAT Asia 2000. Singapore. p. 693–698. I: Algoazany, A. S., Kalita, P. K., Czapar, G. F. och Mitchell, J. K. (2007). Phosphorus transport through subsurface drainage and surface runoff from a flat watershed in East Central Illinois, USA. *Journal of Environmental Quality*, Vol. 36(3), ss. 681–693. Tillgänglig: <https://dl.sciencesocieties.org/publications/jeq/articles/36/3/681>. [2018-10-29]
- KOMMISSIONENS FÖRORDNING (EG) nr 589/2008 av den 23 juni 2008 om tillämpningsföreskrifter för rådets förordning (EG) nr 1234/2007 när det gäller handelsnormerna för ägg. Bilaga 2.1.
- KOMMISSIONENS FÖRORDNING (EG) nr 889/2008 av den 5 september 2008 om tillämpningsföreskrifter för rådets förordning (EG) nr 834/2007 om ekologisk produktion och märkning av ekologiska produkter med avseende på ekologisk produktion, märkning och kontroll. Artikel 14.5 och bilaga 6.
- Kratz, S. (2002). Nährstoffbilanzen konventioneller und ökologischer Broilerproduktion unter besonderer Berücksichtigung der Belastung von Böden in Grünausläufen. Special Issue 240. Ph.D. thesis. Landbauforschung Völkenrode, Braunschweig, Germany. I: Kratz, S., Rogasik, J. och Schnug, E. (2004). Changes in soil nitrogen and phosphorus under different broiler production systems. *Journal of Environmental Quality*, Vol. 33(5), ss. 1662–1674. Tillgänglig: <https://dl.sciencesocieties.org/publications/jeq/articles/33/5/1662>. [2018-10-01].
- Kratz, S., Rogasik, J. och Schnug, E. (2004). Changes in soil nitrogen and phosphorus under different broiler production systems. *Journal of Environmental Quality*, Vol. 33(5), ss. 1662–1674. Tillgänglig: <https://dl.sciencesocieties.org/publications/jeq/articles/33/5/1662>. [2018-10-01].
- KRAV ekonomisk förening, Regler för KRAV-certifierad produktion utgåva 2019-20. Tillgänglig: [https://www.krav.se/wp-content/uploads/2019/01/kravs\\_regler\\_2019-20.pdf](https://www.krav.se/wp-content/uploads/2019/01/kravs_regler_2019-20.pdf) [2019-04-01].
- Kyllmar, K. (2009). Synoptisk vattenprovtagning i två Intensivtypområden -resultat av vattenanalyser. Uppsala: Sveriges Lantbruksuniversitet Institutionen för Mark och miljö, (Teknisk rapport 134).
- LantMet. Klimatdata. Available from: <http://www.ffe.slu.se/lm/LMHome.cfm?LMSUB=1>. [2019-02-01].
- Liu, J. (2013). Phosphorus leaching as influenced by animal manure and catch crop. Diss. Uppsala: Sveriges lantbruksuniversitet.
- LOVA-Lokala vattenvårdsprojekt. (2015) Utvärdering av synoptisk provtagning i Svartåns avrinningsområde i september 2014 och april 2015. Tillgänglig: [https://vattenorganisationer.se/svartansvr/downloads/98/Utvrdering\\_synoptisk\\_provtagnig\\_2014\\_2015\\_Svartan\\_slutversion.pdf](https://vattenorganisationer.se/svartansvr/downloads/98/Utvrdering_synoptisk_provtagnig_2014_2015_Svartan_slutversion.pdf) [2019-02-20].



- Maguire, R.O. och Sims, J.T. (2002). Soil testing to predict phosphorus leaching. *Journal of Environmental Quality*, 31(5), ss. 1601-1609. Tillgänglig: <https://dl.sciencesocieties.org/publications/jeq/articles/31/5/1601> [2019-03-22].
- Maurer, V., Hertzberg, H., Heckendorn, F., Hördegen, P. och Koller, M. (2013). Effects of paddock management on vegetation, nutrient accumulation, and internal parasites in laying hens. *The Journal of Applied Poultry Research*, Vol. 22(2), ss. 334–343. Available from: <https://academic.oup.com/japr/article/22/2/334/710398>. [2019-01-23].
- Menzi, H., D.Meierhans, and H.Wiedmer. 1997. Nähr-und Schadstoffbelastung von Geflügelaußläufen. *Agrarforschung* 4(9):361–364. I: I: Kratz, S., Rogasik, J. och Schnug, E. (2004). Changes in Soil Nitrogen and Phosphorus under Different Broiler Production Systems. *Journal of Environmental Quality*, Vol. 33(5), ss. 1662–1674. Tillgänglig: <https://dl.sciencesocieties.org/publications/jeq/articles/33/5/1662>. [2018-10-01].
- Nagle, T. A. D. och Glatz, P. C. (2012). Free range hens use the range more when the outdoor environment is enriched. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, Vol. 25(4), ss. 584–591. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4092911/>. [2019-01-23].
- Nash, D.M. och Halliwell, D.J. (1999). Fertilisers and phosphorus loss from productive grazing systems. *Australian Journal of Soil Research*, Vol. 37, ss. 403- 429. Tillgänglig: <https://doi.org/10.1071/S98087> [2019-02-18]
- Nash, D.M., Hannah, M., Halliwell, D.J. och Murdoch, C. (2000). Factors affecting phosphorus export from a pasture-based grazing system. *Journal of Environmental Quality*, Vol. 29, 1160-1166. I: Parvage, Mohammed Masud (2015). Impact of horse-keeping on phosphorus (P) concentrations in soil and water. Diss. Uppsala: Sveriges Lantbruksuniversitet.
- Nationella riktlinjer för ekologiskproduktion (2017). Ver 4. Tillgänglig: <https://www.lrf.se/politikochoverkan/marknad-och-mervarden/ekologiskt/nationella-riktlinjer-for-ekologisk-produktion/> [2019-03-22]
- Naturvårdsverket. (2006) Nutrient loads to the Swedish marine environment in 2006: Sweden's report for HELCOM's fifth pollution load compilation. Stockholm: Naturvårdsverket (Naturvårdsverkets rapport 2006:5995).
- Naturvårdsverket (2010). Handbok för kalkning av sjöar och vattendrag. Stockholm: Naturvårdsverket (Naturvårdsverkets rapport: 2010:2). <https://www.havochvatten.se/download/18.304994b6159ebdae8ba84ac3/1485956088365/handbok-for-kalkning-av-sjoar-och-vattendrag-isbn-978-91-620-0165-0.pdf> [2019-02-28].
- Nielsen, M. H., Styczen, M., Ernsten, V., Petersen, C. T. och Hansen, S. (2010). Field study of preferential flow pathways in and between drain trenches. *Vadose Zone Journal*, Vol. 9(4), ss. 1073–1079. Tillgänglig: <https://dl.sciencesocieties.org/publications/vzj/articles/9/4/1073>. [2018-11-04].
- Nyle C. Brady, 1984. The Nature and properties of Soils. I: Johnson, B. (1997). Fosfor i växten och marken. *Växtpressen*. Avs. 4. Tillgänglig: [http://www.vaxteko.nu/html/sll/hydro\\_agri/vaxtpressen/VPN97-4/VPN97-4D.HTM](http://www.vaxteko.nu/html/sll/hydro_agri/vaxtpressen/VPN97-4/VPN97-4D.HTM) [2019-03-19].
- Olsson, U., Englund, J-E. och Engstrand, U. (2005). *Biometri: Grundläggande biologisk statistik*. Studentlitteratur: Lund.
- Panagos, P., Meusburger, K., Ballabio, C., Borrelli, P. och Alewell, C. (2014). Soil erodibility in Europe: A high-resolution dataset based on LUCAS. *Science of The Total Environment*, Vol. 479-480, ss. 189-200. Tillgänglig: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969714001727> [2019-04-02].
- Parvage, Mohammed Masud (2015). Impact of horse-keeping on phosphorus (P) concentrations in soil and water. Diss. Uppsala: Sveriges lantbruksuniversitet.

- Peron, H., Hueckel, T., Laloui, L. och Hu, L. B. (2009). Fundamentals of desiccation cracking of fine-grained soils: experimental characterisation and mechanisms identification. *Canadian Geotechnical Journal*, Vol. 46(10), ss. 1177–1201. Tillgänglig: <http://www.nrcresearchpress.com/doi/full/10.1139/T09-054>. [2018-11-04].
- Pionke, H.B., Gburek, W.J. och Sharpley, A.N. (2000). Critical source area controls on water quality in an agricultural watershed located in the Chesapeake. *Ecological Engineering*. Vol. 14(4), ss. 325-335. DOI: 10.1016/S0925-8574(99)00059-2
- Roy, R.N., Finck, A., Blair, G.J. och Tandon, H.L.S. (2006). Plant nutrition for food security: A guide for integrated nutrient management. Food and Agricultural Organization of the United Nations (FAO), Viale delle Terme di Caracalla, 00100 Rome, Italy. ISBN 92-5-105490-8.
- Salomon, E., Malgeryd J., Bergström J. och Tersmeden M. (2006). Halter av växtnäring och spårelement i lagrad gödsel från värphöns. JTI-rapport, Lantbruk & Industri. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:959515/FULLTEXT01.pdf> [2019-02-28]
- SCB (2016). Dränering av jordbruksmark 2016. Statistiska centralbyrån, Sverige.
- Schindler, D. W. (1977). Evolution of phosphorus limitation in lakes. *science*, Vol. 195(4275), ss. 260-262. Tillgänglig: <http://science.sciencemag.org/content/195/4275/260>. [2018-10-22].
- Sharpley, A.N. (1985). The selective erosion of plant nutrients in runoff. *Soil Science Society of America Journal*, 49, ss. 1527-1534.
- Sharpley, A.N., Gburek, W.J., Folmar, G. och Pionke, H.B. (1999). Sources of phosphorus exported from an agricultural watershed in Pennsylvania. *Agricultural Water Management*, Vol. 41(2), ss. 77-89. Tillgänglig: <https://pubag.nal.usda.gov/download/18699/PDF>. [2019-02-21]
- Sharpley, A. (1999). Agricultural phosphorus, water quality, and poultry production: are they compatible? *Poultry Science*, Vol. 78(5), ss. 660-673. Tillgänglig: <https://academic.oup.com/ps/article/78/5/660/1558767>. [2019-01-30].
- Simard, R. R., Beauchemin, S. och Haygarth, P. M. (2000). Potential for preferential pathways of phosphorus transport. *Journal of Environmental Quality*, Vol. 29(1), ss. 97-105. Tillgänglig: <https://dl.sciencesocieties.org/publications/jeq/abstracts/29/1/JEQ0290010097>. [2018-11-04].
- Singh, P., and R.S. Kanwar. (1991). Preferential solute transport through macropores in large undisturbed saturated soil columns. *J. Environ. Qual.* Vol. 20, ss. 295-300. doi:10.2134/jeq1991.00472425002000010048x. I: Algoazany, A. S., Kalita, P. K., Czapar, G. F. och Mitchell, J. K. (2007). Phosphorus transport through subsurface drainage and surface runoff from a flat watershed in East Central Illinois, USA. *Journal of Environmental Quality*, Vol. 36(3), ss. 681-693. Tillgänglig: <https://dl.sciencesocieties.org/publications/jeq/articles/36/3/681>. [2018-10-29].
- SMHI. (1991). Temperaturen och nederbörden i Sverige 1961-90. Norrköping: SMHI. Nr 81.
- Stamm, C., Fluhler, H., Gachter R., Leuenberger J. och Wunderli, H. (1998). Preferential transport of phosphorus in drained grassland soils. *J. Environ. Qual.* Vol. 27, ss. 515-522. DOI:10.2134/jeq1998.00472425002700030006x
- Steineck, S., Gustafson, A., Richert Stintzing, A., Salomon, E., Myrbeck, Å., Albihn, A. och Sundberg M. (2000). Växtnäring i kretslopp. Uppsala: Sveriges Lantbruksuniversitet.
- Svanbäck, A. (2014). Mitigation of phosphorus leaching from agricultural soils. Diss. Uppsala: Sveriges lantbruksuniversitet. <https://pub.epsilon.slu.se/11171/> [2019-02-28].
- Sveriges lantbruksuniversitet och Naturvårdsverket (2012). Stjernman Forsberg L., Andersson, S. och Kyllmar, K. Utvärdering av synoptiska vattenprovtagningar i typområden på jordbruksmark. Teknisk rapport 151. Uppsala: Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för mark och miljö.
- Sveriges lantbruksuniversitet och Naturvårdsverket (2018). Växtnäring förluster från åkermark 2016/2017. Uppsala. (Ekohydrologi 156).

- Ulén, B. (2003). Concentrations and transport of different forms of phosphorus during snowmelt runoff from an illite clay soil. *Hydrological Processes*, Vol. 17(4), ss. 747-758. Tillgänglig: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/hyp.1164>. [2018-10-30].
- Ulén, B och Jacobsson (2005). Critical evaluation of measures to mitigate phosphorus losses from agricultural land to surface waters in Sweden. *Science of the Total Environment*. Vol. 344, ss. 37-50. Tillgänglig: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969705001105> [2019-03-11].
- Ulén, B. och Snäll, S. (2006). Forms and retention of phosphorus in an illite-clay soil profile with a history of fertilisation with pig manure and mineral fertilisers. *Geoderma*, Vol. 137(3-4), ss. 455-465. Tillgänglig: <https://www.journals.elsevier.com/geoderma> [2019-02-28].
- Ulén, B., Bechmann, M., Fölster, J., Jarvie, H.P. och Tunney, H. (2007). Agriculture as a phosphorus source for eutrophication in the north-west European countries, Norway, Sweden, United Kingdom and Ireland: a review. *Soil Use and Management*, Vol. 23, ss. 5-15. Tillgänglig: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1475-2743.2007.00115.x> [2019-02-28].
- Van der Salm, C., Van den Toorn, A., Chardon, W. J. och Koopmans, G. F. (2012). Water and nutrient transport on a heavy clay soil in a fluvial plain in the netherlands. *Journal of Environmental Quality*, Vol. 41(1), ss. 229–241. Tillgänglig: <https://dl.sciencesocieties.org/publications/jeq/articles/41/1/229>. [2018-10-29].
- Villa Solís, A. (2014). Risk assessment of erosion and losses of particulate phosphorus. Diss. Uppsala: Sveriges lantbruksuniversitet. Tillgänglig: <https://pub.epsilon.slu.se/11402/> [2019-03-19].
- Wachenfelt, V. H. (2002). Betesdrift och utomhusytor för ekologiska svin. Alnarp: Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för jordbrukets biosystem och teknologi (JTB).
- Wiedemann, S., Pratt, C., Bliefield, N., Mayer, D. G., Redding, M. R. och McGahan, E. (2018). Establishing soil nutrient distribution zones across free range egg farms to guide practical nutrient management strategies. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, Vol. 257, ss. 20–29. Tillgänglig: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167880918300434>. [2019-02-15].
- Zeltner, E. och Hirt, H. (2003) Effect of artificial structuring on the use of laying hen runs in a free-range system, *British Poultry Science*, Vol. 44(4), ss. 533-537, DOI: 10.1080/00071660310001616264.