

## Tillförsel av använda fosforfilter påverkar inte tillväxten eller fosforupptaget hos korn

Application of used phosphorus filters does not affect the  
growth or the phosphorus uptake of barley

*Emma Tylstedt*



## **Tillförsel av använda fosforfilter påverkar inte tillväxten eller fosforupptaget hos korn**

Application of used phosphorus filters does not affect the growth or the phosphorus uptake of barley

*Emma Tylstedt*

**Handledare:** Göran Bergkvist, institutionen för växtproduktionsekologi, SLU Uppsala

**Btr handledare:** Sigrun Dahlin, institutionen för mark och miljö, SLU Uppsala

**Beställare:** Tony Persson, IVL Svenska Miljöinstitutet AB, Stockholm

**Examinator:** Ingrid Öborn, institutionen för växtproduktionsekologi, SLU Uppsala

**Omfattning:** 30 hp

**Nivå och fördjupning:** D-nivå

**Kurstitel:** Självständigt arbete i biologi

**Kurskod:** EX0564

**Program/utbildning:** Mark- och växtagronomprogrammet

**Utgivningsort:** Uppsala

**Utgivningsår:** 2011

**Omslagsbild:** Emma Tylstedt

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

**Nyckelord:** Fosfor, Filtra P, Polonite, Filtralite, Hyttsand, kalkning, struktureffekt



Sveriges lantbruksuniversitet  
Fakulteten för naturresurser och lantbruksvetenskap  
Institutionen för växtproduktionsekologi och institutionen för mark och miljö

## Tillkännagivelser

Detta examensarbete har gjorts i samarbete mellan institutionen för växtproduktionsekologi och institutionen för mark och miljö på SLU, Ultuna. Beställare av arbetet var IVL Svenska Miljöinstitutet som också har finansierat delar av arbetet. Speciellt tack till Tony Persson som har fungerat som min handledare på IVL Svenska miljöinstitutet. Jag vill också tacka filterföretagen Nordkalk AB, Biotech, Weber samt Merox för filtermaterial och information om filtren. Tack till Lennart Mattson och Barbro Ulén på institutionen för mark och miljö samt Calle Åkerberg på institutionen för växtproduktionsekologi.



## Abstract

The eutrophication of inshore seas, lakes and watercourses is mainly due to leaching of nitrogen and phosphorus (P) from agriculture. Many efforts are made to reduce the leakage of phosphorus in Sweden and the Baltic Sea countries. Phosphorus is also a finite resource and the mining of good quality raw material gets more and more difficult. Sedimentation dams in combination with filters is one relatively new method to separate P from run-off and drainage water from agricultural land. This study was a part of an IVL Swedish Environmental Research Institute's project which tests the capacity and function for separation of phosphorus in four phosphorus filters. The main focus in this study was to investigate the phosphorus fertilizing effect of recycled used filter material on barley. Such filters have earlier shown to have a liming effect on soils.

The hypotheses tested in this study were: 1) Phosphorus filters added to soil will improve the growth of the crop, 2) Phosphorus filters added to soil will improve the growth of the crop more on the unlimed soil than on the limed soil, and 3) Phosphorus filters added to soil will improve the phosphorus uptake by the plant. The hypotheses were tested in a greenhouse experiment with barley, cv Vilgott, where the four filters Filtra P, Polonite, Filtralite and Hyttsand were added to soil derived from a liming and phosphorus fertilization field trial (R3-1001) at Lanna in southwestern Sweden. The soil from the treatments used in the experiment has not been fertilized with phosphorus after the start of the experiment in 1936. The filters had then been used in the field for phosphorus separation for 16 months. To be able to separate the liming effect of the filters from the potential phosphorus effect, limed and unlimed soils from the field experiment were used in combination with/without phosphorus application. At harvest, after five weeks of growth, when the plants had reached on average growth stage DC 33, the plant development and symptoms of phosphorus deficiency were recorded. The dry matter content and phosphorus uptake as well as the content of nitrogen and carbon of the crop were analyzed. The filters and soils were also analyzed on its content of phosphorus (P-AL). The results were interpreted statistically with ANOVA.

Plants given phosphorus fertilizer grew much better than plants that were not, which showed that the conditions for discovering potential phosphorus effect due to the filters were favourable. The growth and the phosphorus uptake of barley neither improved nor were reduced due to the filters when they were added in proportion to their liming effect. During this short term study tendencies were seen that filters affected the growth, development and phosphorus uptake of barley, why a filter effect cannot be excluded. It would have been interesting to track phosphorus in the filters by using isotope marked phosphorus or comparing filters with different phosphorus saturation rates. This could be combined in an experiment to investigate if a saturated filter releases phosphorus easier than a non-saturated filter when added to soil.

Keywords: Phosphorus, Filtra P, Polonite, Filtralite, Hyttsand, liming, effect on soil structure



## Sammanfattning

Övergödningen av våra kustnära hav, sjöar och vattendrag beror till stor del på läckage av fosfor och kväve från jordbruket. Idag ligger stort fokus på att minska fosforförlusterna från jordbruket också eftersom koncentrerade fosfortillgångar är en ändlig resurs och den rena råvaran blir allt svårare att utvinna. Dikesdammar i kombination med filtermaterial i behållare är en relativt ny metod för att avskilja fosfor från avrinnande vatten från jordbruksmark. Därför har IVL Svenska Miljöinstitutet testat fyra kommersiella filter som används för detta syfte i ett fältförsök. Som en del i deras projekt gjordes detta examensarbete för att undersöka om fosfor som bundits i filtren blir växttillgängligt vid tillsats till odlingsjord. Tidigare studier har visat att vissa filter har en kalkningseffekt.

Hypoteser som testades i denna studie var 1) Filtertillsats ökar grödans tillväxt i form av ökad produktion av torrsubstans, 2) Filtertillsats ger en högre tillväxt på den okalkade jorden jämfört med den kalkade jorden, och 3) Filtertillsats ökar grödans fosforupptag. Hypoteserna testades i ett växthusförsök med korn av sorten Vilgott där de fyra filtren Filtra P, Polonite, Filtralite och Hyttsand tillsattes jord från ett kalkningsförsök (R3-1001) på Lanna i Västergötland som inte fosforgödslats efter 1936. Filtren hade använts i 16 månader för att fånga fosfor ur avrinningsvattnet från jordbruksmark i Lagga utanför Uppsala. En okalkad och en kalkad jord från Lanna-försöket samt gödsling med (NPK) och utan (NK) fosfor tillsattes för att kunna urskilja kalkningseffekten från en eventuell fosforgödslingseffekt. Efter fem veckors tillväxt bestämdes plantornas utveckling enligt DC-skalan samt fosforbristsymptom. Analyser gjordes på grödan för att bestämma mängd torrsubstans som producerats, grödans fosforupptag samt kol- och kväveinnehåll. Analyser gjordes även på jorden och filtren bland annat för att bestämma innehållet av ammoniumlaktat-extraherbart fosfor (P-AL). Resultaten analyserades statistiskt med ANOVA.

Stora skillnader observerades mellan plantor som fått fosforgödsling och dem utan, vilket tyder på att förutsättningarna fanns för att upptäcka om filtren hade en fosforgödslingseffekt. Tillväxten och fosforupptaget hos korn varken minskade eller ökade när filtren blandats in i jorden enligt proportioner som motsvarar vad som skulle läggas på om filtren använts för sina kalkningsegenskaper. Under detta relativt korta försök sågs dock tendenser till att de enskilda filtren påverkade grödan olika. Detta gör att en långsiktig påverkan på tillväxt, utveckling och fosforupptag inte går att utesluta. Det hade varit intressant att följa fosfor i filtren genom att använda isotopmärkt fosfor eller att jämföra filter med olika fosformättnadsgrad. Dessa studier skulle kunna kombineras för att studera om ett mättat filter släpper fosfor lättare än ett mer omättat filter vid tillförsel till jord.

Nyckelord: Fosfor, Filtra P, Polonite, Filtralite, Hyttsand, kalkning, struktureffekt





## Innehåll

Tillkännagivelser.....	1
<b>Abstract</b>	<b>3</b>
<b>Sammanfattning</b>	<b>5</b>
<b>1 Inledning</b>	<b>9</b>
1.1 Hotet mot Östersjön.....	9
1.2 Baltic Sea Action Plan och fosforfilter .....	10
1.3 Fosfor i växten och i rotzonen.....	11
1.4 Fosforfilters funktion .....	12
1.5 Spridning av fosforfilter på åkermark .....	13
1.7 Syfte och hypoteser.....	14
<b>2. Material och metoder</b>	<b>15</b>
2.1 Växthusförsök med fyra fosforfilter .....	15
2.1.1 Doser filtermaterial och kalk .....	16
2.1.2 Växthusförsök.....	17
2.1.3 Filtermaterial .....	17
2.1.4 En okalkad och en kalkad jord användes .....	20
2.1.5 Gödsling med och utan fosfor .....	21
2.2 Analyser och mätningar .....	21
2.2.1 Skörd .....	21
2.2.2 Analyser.....	22
2.3 Statistik.....	23
<b>3. Resultat</b>	<b>25</b>
3.1 Tillväxt .....	25
3.2 Fosforupptag .....	28
3.3 Plantornas utveckling .....	29
3.4 pH.....	31
3.5 Övriga mätvärden .....	33
<b>4. Diskussion</b>	<b>35</b>
<b>5. Slutsatser och rekommendationer</b>	<b>39</b>
<b>6. Referenser</b>	<b>40</b>
Litteratur .....	40
Personligt meddelande.....	41
Internet .....	41
<b>Appendix I</b>	<b>43</b>
Information om filtren.....	43
<b>Appendix II</b>	<b>45</b>
Beräkning av jordens kalkbehov.....	45



# 1 Inledning

Ett numera uppmärksammat problem är övergödningen av kustnära hav, sjöar och vattendrag som beror på bland annat läckage av kväve (N) och fosfor (P) från jordbruket. Fosfor används som gödselmedel och utgör tillsammans med kväve och kalium det näringsämne som används i störst omfattning inom jordbruket idag. Fosfor är dessutom en ändlig resurs, där den rena råvaran blir alltmer sällsynt vilket gör att behovet av att hushålla med växtnäring är stort. Skyddszoner, våtmarker och dammar som samlar fosfor är exempel på åtgärder som har införts för att minska läckaget av fosfor från jordbruket. Att rena dräneringsvattnet med hjälp utav filtermaterial som adsorberar fosfor, så kallade fosforfilter, är en relativt ny åtgärd som lite forskning har gjorts på. I detta examensarbete har fosforfiltrens funktions som fosforgödselmedel studerats, vilket är viktigt för att bedöma värdet av använda fosforfilter och därmed kostnaderna för att använda fosforfilter.

## 1.1 Hotet mot Östersjön

Östersjön är ett hav som drabbas hårt av övergödningen eftersom det har så lite utbyte av vatten med andra hav och följaktligen får in mycket små mängder syrerikt vatten via Öresund och Bälten (Baltic Sea 2020, 2011). Ca 40 % av de mänskligt påverkade läckagen av fosfor kommer från jordbruket (Jordbruksverket, 2011).

Enligt Baltic Sea 2020 (2011) har koncentrationerna av kväve och fosfor i Östersjön uppskattningsvis ökat ca fyra respektive åtta gånger sedan sekelskiftet 1800-1900, ordentliga mätningar har dock inte gjorts förrän från 1960-talet. På samma sätt som jordbruksgrödorna behöver kväve och fosfor för sin tillväxt behöver även havens och sjöarnas växter det. Näringsöverskott i vattenmiljöerna leder till en rad fysikaliska, biologiska och kemiska förändringar i ekosyste-

men och påverkar också processer i bottensedimenten (Baltic Sea 2020, 2011). De stora mängderna av organiskt material, som bildas på grund av den kraftiga tillväxten, kan inte brytas ned utan blir kvar på botten, vilket leder till syrefria botten och färre bottenlevande djur. Cyanobakterier kan fixera kväve från luften och omvandla det till användbara kväveföreningar. De gynnas av fosforöverskott eftersom de då kan konkurrera ut andra, kvävebegränsade alger. Vid stora populationer av cyanobakterier syns vad som kallas för algbloomingar vilka kan vara giftiga för djur och människor.

## 1.2 Baltic Sea Action Plan och fosforfilter

De senaste decennierna har miljön kring Östersjön ändrats betydligt. Tydliga tecken på detta är algbloomingar, döda botten och uttömning av sjöns fiskbestånd (HELCOM 1, 2010). En gemensam åtgärdsplan för Östersjöländerna beslutades i november 2007 för att återställa en god ekologisk status i havsområdena till år 2021. Planen fick namnet Baltic Sea Action Plan (BSAP) och berör den Egentliga Östersjön, Öresund och Kattegatt. Målet, en god ekologisk status, innefattar fyra delmål: Östersjön opåverkad av övergödning, liv i Östersjön opåverkat av farliga ämnen, en gynnsam bevarandestatus av Östersjöns biologiska mångfald och miljövänlig sjöfart i Östersjön.

Jordbruksverket har presenterat ett antal åtgärdsförslag för att minska miljöbelastningen av näringsämnen från jordbruket (Jordbruksverket, 2008). Planen innefattar beting för minskning av både kväve och fosforutsläpp från deltagarländerna till år 2021. Sveriges beting är att minska utsläppen av kväve med 20 780 ton och fosfor med 290 ton per år fram till år 2021. År 2006 läckte totalt 121 000 ton kväve och 3 550 ton fosfor till haven från Sverige (Jordbruksverket, 2011). Ungefär hälften av läckaget var dock naturligt läckage från skog och mark.

Fosforfilter klassificeras av Naturvårdsverket (2009) som en lovande åtgärd för att minska fosforläckaget, men Naturvårdsverket bedömer att det behövs mer forskning för att vidare reda ut konsekvenser och verkningssätt. IVL Svenska Miljöinstitutet har testat en metodik där dikesdammar och filtermaterial i behållare kombineras för att avskilja fosfor från avrinnande vatten från jordbruksmark. De fyra kommersiella fosforfiltren som testats har tidigare mest använts för rening av avloppsvatten från bland annat enskilda avlopp. Få tillämpade studier finns av filtermaterialens kapacitet och funktion för avskiljning av fos-

för från jordbruksavrinning. För att metoden skall bli miljömässigt hållbar och attraktiv att använda i större skala blir återföring av använt filtermaterial till jordbruksmarken en viktig komponent.

### 1.3 Fosfor i växten och i rotzonen

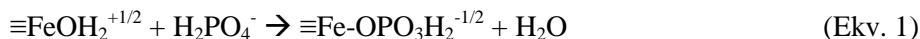
Fosforhalten i dräneringsvatten från mineraljordar är ofta låg, < 0,26 mg P/l (Fogelfors, 2001). Ett spann mellan 0,3-3,0 mg P/l i markvätskan anses vara tillräckligt för en god tillväxt hos våra vanligaste jordbruksgrödor. Växten kan aktivt ta upp fosfatjoner, om sådana finns tillgängliga. Fosfor tas upp som  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  och i mindre grad  $\text{HPO}_4^{2-}$ . Näringsämnet ingår i sockerfosfater i fotosyntes och metabolism, nukleinsyror, membranlipider, ATP m.fl. i energiomställningen. Fosforbrist leder till lägre planthöjd, mörkgröna eller rödaktiga blad, dåligt utvecklade plantor samt dålig frukt- och frösättning. Eftersom fosfor är ett lätttröligt näringsämne prioriteras nya blad och äldre blad blir bruna och dör. Fosforbrist är vanligare på rena växtodlingsgårdar än på gårdar med animalieproduktion eftersom mer fosfor tillförs gården som fodertillsatser än som exporteras via avsaluprodukter på animaliegårdar. Fosfor transporteras till rötterna framförallt genom diffusion, drivkraften bakom flödet är alltså en koncentrationsgradient. Fosfors transport i marken beror framförallt av volymprocent vatten i jorden, diffusionsvägens slingrighet, fosfatföreningarnas förmåga att släppa ifrån sig fosfatjoner och temperaturen. Lösligheten hos de olika fosfatföreningarna är störst mellan pH 6 och 7 i marken, eftersom fosfor bildar mer lösliga föreningar med kalcium och magnesium vid dessa pH-värden än vid andra pH. Vid pH under 6 bildar fosfor svårösliga föreningar med aluminium och järn medan det vid pH över 7 bildas föreningar mellan fosfat och kalcium. Fosforfastläggning kan vara problematiskt på sura jordar med höga halter av finfördelade järn- och aluminiumoxider och hydroxider (Fogelfors, 2001).

Vissa fosforfilter bildar fällningar mellan fosfor och kalcium på grund av det höga pH – värdet och den höga koncentrationen kalcium i filtren (Fogelfors, 2001). När filtrena återförs till jordbruksmark sjunker pH-värdet i filtermaterialet på grund av jordens buffrande förmåga (Fogelfors, 2001), vilket kan innebära att fosfors tillgänglighet återigen ökar. Det finns alltså en potentiell gödslingsseffekt i återföringen av filtren till jordbruksmark.

## 1.4 Fosforfilters funktion

Enligt Hylander m.fl. (2005) anses fosforfilter fungera väl om det har en god sorptionsförmåga för fosfor, såväl kort- som långsiktig. Filtrena måste givetvis vara så effektiva att utgående vatten, som passerat genom filtret, uppfyller de krav som användaren ställer. Materialet bör ha en hög adsorptionsförmåga per volym- och viktenhet och får inte slamma igen. Det är också viktigt att konsumenten inte behöver byta filter alltför ofta och att inte filtermodulen är svår att hantera. Ytterligare en viktig egenskap är att filtermaterialet bör kunna spridas på åkermark efter användning så att växter kan tillgodogöra sig fosfor (Hylander m. fl., 2005).

Exakt hur fastläggningen av fosfor sker i filtren är inte klargjort, adsorption är dock en av mekanismerna bakom fastläggningen (Hylander m.fl., 2006). Enligt Stark (2003) påverkar den specifika ytan, dvs. storleken på ytan som finns tillgänglig för adsorption, filtrets förmåga att avskilja ämnen. Ytan bör inte bara vara stor utan även reaktiv, något som beror på filtrets kemiska sammansättning. Stark (2003) menar också att andelen ler i materialet påverkar adsorptionen genom att påverka materialets laddning. Positiva ytor i filtren attraherar negativa joner såsom fosfat (Stark, 2003). Mängd kalcium, järn, aluminium och mangan i filtren påverkar också sorptionsförmågan. Johansson (2000) har beskrivit ligandbytet med järnoxid som

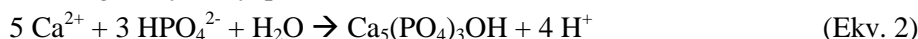


Organiskt material kan bidra till att minska adsorptionen av fosfor genom att blockera och neutralisera oxidernas positiva laddade OH<sub>2</sub>-grupper. Detta beror på att humus bildar starkare ytkomplex med oxider än fosfat eftersom det har många komplexbildande karboxyl- och fenolgrupper. Kalcium kan också bilda ytkomplex med humus, en process som gynnas av högt pH (Johansson m. fl., 2000).

Eveborn (2003) menar att om filtren innehåller kalcium så kan även en fastläggning av fosfor ske via utfällningar. Framförallt har CaO en stor inverkan på fastläggningen av fosfor (Eveborn, 2003). I lösningar med högt pH reagerar löst H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup> med löst kalcium, vilka bildar en serie av produkter som blir mindre och mindre lösliga, och också svårtillgängliga för växter (Johansson m. fl., 1999).

Exempelvis bildas hydroxyapatit och oktakalciumfosfat, vilka är mycket svår-lösliga föreningar. Processen når jämvikt först efter flera veckor eller månader.

Bildning av hydroxyapatit



Utfällning av hydroxyapatit är den vanligaste mekanismen vid fosforavskiljning, framförallt vid pH > 8-9 (Johansson m. fl., 2000).

## 1.5 Spridning av fosforfilter på åkermark

Fosforfilter kan återföras till jordbruksmark under förutsättning att filtret inte innehåller några gifter eller patogener, och med fördel om det fosfor som bundits i materialet dessutom blir växttillgängligt (Hylander, 2006). Flera studier har testat fosforfilters effektivitet som gödslingsmedel i olika kärlförsök (Cabañas, 2008). I de flesta fall var resultatet en ökad skörd jämfört med led utan fosforgödsling. Det är även visat att fosfor åter kan frigöras till markvätskan från vissa filtermaterial genom studier med <sup>31</sup>P märkning (Kvarnström et. al., 2004). Filtrena innehåller ofta, förutom fosfor, även andra makro- och mikronäringsämnen som kan öka bördigheten i marken vid återföring.

En begränsning i spridning av fosforfilter kan uppstå om fosforhalterna överskrider mängden totalfosfor som får spridas på åkermark per år, vilket dock inte är troligt. Naturvårdsverket har utarbetat bestämmelser för spridning av avloppsslam på åkermark med avseende på totalfosfor – innehållet (tabell 1).

Tabell 1. Maximal mängd totalfosfor som får tillföras åkermark (Naturvårdsverket, 1994)

Jordens fosforklass*	kg/ha Årsmedelvärde	kg/ha och spridningstillfälle (under en sjuårsperiod)
I och II	35	245
III-V	22	154

\* Lättlöslig fosfor (P-AL): SNFS 1998:4

Tabell 2. Fosforklasser i mark (Naturvårdsverket, 1994)

Klass	mg P-AL* per 100 gram torr jord
I	<2
II	2,0 – 4,0
III	4,1 – 8,0
IV	8,1 – 16,0
V	>16

\*P-AL = ammoniumlaktatextraherbar fosfor

I sin avhandling har Cabañas (2009) bland annat testat mättade filter av typerna Polonite, Filtra P och wollastonit som jordförbättringsmaterial i krukförsök med korn som gröda. Mättnadspotentialen hos Polonite visade sig vara högre än den för de andra två. I försöket uppmättes inga effekter på avkastningen mätt i produktion av torrsubstans även om det fanns en tendens till ökad skörd vid tillsatts av löst fosfor ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ) och fosfor från de mättade filtren jämfört med kontrollen utan tillsatts av fosfor. Polonite ökade däremot skörden av korn i ett försök av Hylander et al. (2006). Cabañas (2009) fann tendenser till att avkastningen av engelskt rajgräs var större efter tillsats av filtermaterialen Polonite, Filtra P och wollastonit, än med tillsats av  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ , eller utan fosfor. Samtliga material hade en kalkande effekt på jorden beroende på filtrens höga pH (Cabañas, 2009).

Fosfor adsorberat till olika substrat, däribland järnrik sand och LECA (light expanded clay aggregates), har visat sig vara tillgängligt till engelskt rajgräs (Kvarnström et al. 2004). Det framgår inte av undersökningen om den högre skörden beror på en ökad tillgänglighet av fosfor i marken beroende på substratens kalkande effekt, eller om effekten berodde på direkttillförsel av fosfor från substraten (Kvarnström et al., 2004) och skulle därmed behöva utredas mer.

## 1.7 Syfte och hypoteser

Syftet med denna studie var att i ett växthusförsök testa om en tillsats till jord av de fyra filter som IVL Svenska Miljöinstitutet bedrivit forskning på (Filtra P; Polonite, Filtralite och Hyttsand) ger en gödslingseffekt till en vald gröda utöver den förväntade kalkeffekten. Detta skulle ge en indikation på att fosfor som är bundet i använt filtermaterial kan frigöras och bli växttillgängligt vid återföring till jordbruksmark.

I försöket testades följande hypoteser:

HI: Tillsats av filter ger en positiv effekt på tillväxten hos grödan

III: Tillväxten gynnas mer av en filtertillsats på den okalkade jorden än på den kalkade jorden

IIII: Grödan tar upp mer fosfor vid tillsats av filter



## 2. Material och metoder

### 2.1 Växthusförsök med fyra fosforfilter

Hypoteserna testades i ett randomiserat blockförsök i växthus (tabell 3). Totalt fanns fyra block. Inom blocken var kärnen slumpmässigt placerade och roterades efter ett förutbestämt mönster. Grödan som odlades var tvåradskorn av sorten Vilgott.

*Tabell 3. Försöksupplägg för att testa återföring av filtermaterial till lerjord i växthus. Notera att samtliga led återfinns i varje block, 1-4*

Filter/kalk	Doser*	Jord	Näring
Kontroll	Normal	Okalkad	Med P
Filtra P	Hög**	Kalkad	Utan P
Polonite			
Filtralite			
Hyttssand			
Kalk			

\*Avser dos av filtermaterial och kalk och är inte relevant för kontrolledet

\*\* Finns bara för den kalkade jorden, i icke fosforgödslade led.

Alla filter och kalken tillfördes både den okalkade och den kalkade jorden i olika led. Kontroller fanns för båda jordarna. Hälften av kärnen med de båda jordarna fosforgödslades. Den normala dosen av filter/kalk tillsattes båda jordarna medan den höga dosen bara tillfördes på den ej fosforgödslade, men kalkade jorden. Totalt fanns 29 led (tabell 4).

Tabell 4. Samtliga led som ingick i ett block i växthusförsöket

Led	Filter/kalk	Dos	Näring	Jord
1	Kontroll	-	utan P	okalkad
2	Kontroll	-	med P	okalkad
3	Filtra P	normal	med P	okalkad
4	Polonite	normal	med P	okalkad
5	Filtralite	normal	med P	okalkad
6	Hyttsand	normal	med P	okalkad
7	Kalk	normal	med P	okalkad
8	Filtra P	normal	utan P	okalkad
9	Polonite	normal	utan P	okalkad
10	Filtralite	normal	utan P	okalkad
11	Hyttsand	normal	utan P	okalkad
12	Kalk	normal	utan P	okalkad
13	Kontroll	-	utan P	kalkad
14	Kontroll	-	med P	kalkad
15	Filtra P	normal	med P	kalkad
16	Polonite	normal	med P	kalkad
17	Filtralite	normal	med P	kalkad
18	Hyttsand	normal	med P	kalkad
19	Kalk	normal	med P	kalkad
20	Filtra P	normal	utan P	kalkad
21	Polonite	normal	utan P	kalkad
22	Filtralite	normal	utan P	kalkad
23	Hyttsand	normal	utan P	kalkad
24	Kalk	normal	utan P	kalkad
25	Filtra P	hög	utan P	kalkad
26	Polonite	hög	utan P	kalkad
27	Filtralite	hög	utan P	kalkad
28	Hyttsand	hög	utan P	kalkad
29	Kalk	hög	utan P	kalkad

### 2.1.1 Doser filtermaterial och kalk

Filtren doserades efter massa (g) vilken hölls lika för alla filter. Doserna av filter och kalk i normaldos- leden baserades på jordens kalkbehov (se uträkning av jordens teoretiska kalkbehov i appendix II) och kalkverkan av Filtra P (tabell 5). Kalkverkan baserades på innehållet av CaO i Filtra P, vilket är 21,70 % för ljus Filtra P, vilken användes i denna studie. Samma mängd filtermaterial tillfördes från övriga filter. En bedömning gjordes att filtrena bäst jämfördes på

viktbasis, vilket också vore praktiskt lättast vid spridning i fält. Den normala dosen filter/kalk i ovanstående led motsvarar en rimlig mängd att tillföra marken, ur en lantbrukares perspektiv. Den höga dosen var fyra gånger större än den normala och inkluderades för att tydliggöra effekterna av filtren.

Tabell 5. Doser av filtermaterial och kalk som tillsattes jorden angivna i g/kruka

	Filter	Kalk
Normal	8,8	6,7
Hög	35,2	26,7

Ett hektar motsvarar 2500 m<sup>3</sup> matjord (0-25 cm). Varje kruka rymmer ca 2,5 liter. Därför motsvarar 1 ton per hektar 1 gram per kruka.

### 2.1.2 Växthusförsök

Innan sådd blandades jord, filter och näring och lades i kärlden (höjd 17 cm, diameter 14 cm). Block 1-3 blandades 5 dagar innan sådd och block 4 samma dag som sådden. I övrigt är blocken lika behandlade. Den 1 mars såddes 8 kärnor per kruka. Såbotten vattnades innan sådd och torr jord användes för att täcka kärnorna. För att kärlden skulle behålla fukten täcktes de med transparent plast fram till uppkomst. En vecka efter sådd gallrades beståndet till 4 plantor per kruka.

Temperaturen i växthuset var vid försöksstart 20 grader dygnet runt. En vecka efter uppkomst ändrades temperaturen så att det var 20 grader på dagen (mellan 04 och 22) och 10 grader på natten. Två veckor efter sådd sänktes temperaturen till 16 grader på dagen för att plantorna inte skulle bli för långsträckta. Ljuset sattes på dag 5, när kärnorna hade grott, och var på under dagtid (mellan 04 och 22).

### 2.1.3 Filtermaterial

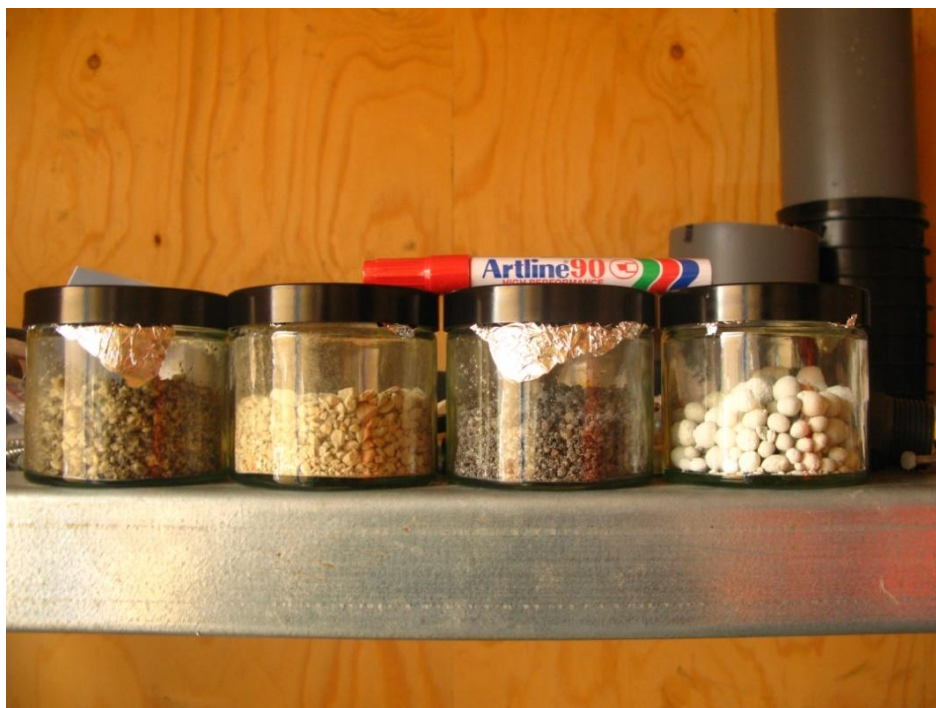
Fyra kommersiella filter användes i studien; Filtra P, Polonite, Filtralite (0-4 mm) och Hyttsand (figur 1).

- Filtra P är ett granulärt filtermaterial som utvecklats av Nordkalk AB för att avskilja löst fosfor i avloppsvatten. Filtra P består av kalk, gips och järnföreningar (Nordkalk, 2004).
- Polonite är ett kalciumsilikat som fraktioneras i flera steg och hettas upp med avsikt att kunna användas som fosforfälla. Produkten har ett

högt initialt pH > 12 innan användning och produceras av Biotech. (Biotech, 2010).

- Filtralite P produceras av Weber (tidigare Maxit Group AB) i Norge och består av lera, vilken hettats upp till 1200° C. Vid upphettningen bildas gaser i den expanderande leran vilka skapar porer. Det organiska materialet i leran förbränns vid upphettningen (Weber, 2007).
- Hyttsand härstammar från masugnsslagg som är en biprodukt vid framställning av råjärn. Hyttsand beskrivs av tillverkaren som en amorf, sandlik produkt vilken har latenta bindningsegenskaper. (SSAB, Merox AB, 2005).

Mer information om filtren finns i Appendix I. Kalken som användes var trädgårdskalk med ett innehåll av 43 %  $MgCO_3$ .



Figur 1. De fyra filtermaterialen, från vänster till höger: Hyttsand, Polonite, Filtralite och Filtra P.

De filtermaterial som användes i växthusförsöket kommer från en försöksstation i Lagga utanför Uppsala där filtren varit i bruk i ca 16 månader. IVL:s mätningar av filtrens förmåga att avskilja fosfor från avrinningsvatten från jordbruksmark startade fullt ut den 19 oktober 2009. Eftersom filtren hade brukats i verkliga fältförhållanden när de togs upp var de inte mättade på fosfor. För att de ska fånga fosfor effektivt krävs ett högt pH, vilket sjunker vid an-

vändning i fält en längre tid i de filter som testats i denna studie. Det var alltså, efter 16 månaders användning, en rimlig tidpunkt att ta upp filtren. Filtermaterialet hämtades in från försöksstationen den 23 februari 2011. Materialet togs från den övre delen av brunnen, där det också troligen har fastlagts mest fosfor. De frysta filtren tinades upp en dag innan de blandades med jorden. Eftersom block 4 blandades senare var vattenhalten i filtren och jorden till blocket troligen lägre, jämfört med värdena på vattenhalt vid växthusförsökets start (tabell 6).

Tabell 6. Filtrens vattenhalt, fosforinnehåll och pH vid växthusförsökets start

	Filtra P	Polonite	Filtralite	Hyttsand
Vattenhalt (%)	50	29	37	36
Fosfor fångat (mg P/kg)	45	61	47	58
pH	8,7	9,2	9,2	8,9

Tabell 7. Innehåll av ammoniumlaktat (AL)- lösligt, aluminium (Al), kalcium (Ca), järn (Fe), magnesium (Mg) och fosfor (P) i filter som använts för att rena dräneringsvatten från fosfor i 16 månader. AL- värdena är inte korrigerade för torrsubstanshalten. TS vid analystillfället anges i tabellen

Prov	Ts %	mg/100g				
		Al -AL	Ca -AL	Fe -AL	Mg -AL	P -AL
Filtra P malt	81	370	9948	207	334	18
Filtra P omalt	82	65	1385	69	241	3
Polonite malt	99	100	9523	135	126	5
Polonite omalt	94	77	6506	85	89	4
Filtralite malt	100	80	1507	239	296	4
Filtralite omalt	100	55	1122	63	213	3
Hyttsand malt	100	841	5081	28	2113	1
Hyttsand omalt	100	867	5120	25	2033	1

Tabell 8. De i fält använda filtrens innehåll av saltsyra(HCl)- extraherbart aluminium, kalcium, järn och magnesium

Prov	mg/100g	mg/100g	mg/100g	mg/100g	mg/100g
	HCl-Al	HCl-Ca	HCl-Fe	HCl-Mg	HCl-P
Filtra P malt	551	21100	418	275	18
Filtra P omalt	576	21563	420	292	6
Polonite malt	1995	15390	1215	382	33
Polonite omalt	2025	15897	1161	376	17
Filtralite malt	1505	2651	2195	1119	34
Filtralite omalt	1466	2273	2106	1114	24
Hyttsand malt	6476	21372	205	8912	5
Hyttsand omalt	6185	20490	154	8642	4

Tabell 9. Oanvända filters av saltsyra(HCl)- extraherbar fosfor

Prov	mg/100g
	HCl-P
Filtra-P	23
Hyttsand	0
Filtralite	15
Polonite	19

#### 2.1.4 En okalkad och en kalkad jord användes

Som odlingssubstrat valdes en kalkad och en okalkad jord från ett kalknings- och fosforgödslingsförsök på Lanna (R3-1001) i Västergötland som inte gödslats med fosfor sedan 1936 (Mattsson, 2001). Jorden valdes eftersom både fosforgödslings- och struktureffekten borde vara tydliga. Jorden innehåller 36 % ler, vilket gör att den klassas som mellanlera. I Lannaförsöket namnges jorden som led 111 (okalkad) och 221 (kalkad). Försöket startades 1936. Den okalkade jorden hade varken kalkats eller fosforgödslats sedan försöksstart. Den kalkade jorden startkalkades, omkalkades sedan 1974 och har inte heller fosforgödslats sedan försöksstarten. Den okalkade matjorden var i fosforklass III och den kalkade i fosforklass II vid växthusförsökets start (P-AL) (tabell 10).

Jorden samlades in vecka 46 och förvarades fram till försöksstart i 5 °C, för att hålla aktiviteten i jorden nere så att inte jorden förändrades med avseende på bland annat organiskt material och mikrobiell aktivitet.

Jordarna lades på torkning den 8 februari 2011. Jordeaggregaten krossades med en slägg allteftersom den torkade till en krossvänlig vattenhalt. Anledningen

till att jorden krossades var att den annars torkat i stora kokor som fungerar dåligt som odlingssubstrat. Jorden kunde inte heller malas eftersom aggregatstrukturen då skulle försvinna. Efter att jorden krossats förvarades den i rumstemperatur fram till försöksstart.

Tabell 10. Karaktäristika för jorden från Lanna

	Okalkad jord	Kalkad jord
pH	6,9	7,2
Ts %	98	98
Tot-C %	2,0	2,1
Tot-N %	0,2	0,2
C/N	13	13
Aluminium*	25	21
Kalcium*	278	284
Järn*	67	56
Magnesium*	34	27
Fosfor*	5	3
P- klass	III	II

\*Avser innehåll av ammoniumlaktat(AL)- lösligt ämne i mg/100g och är inte korrigerade för torrsubstanshalten.

### 2.1.5 Gödsling med och utan fosfor

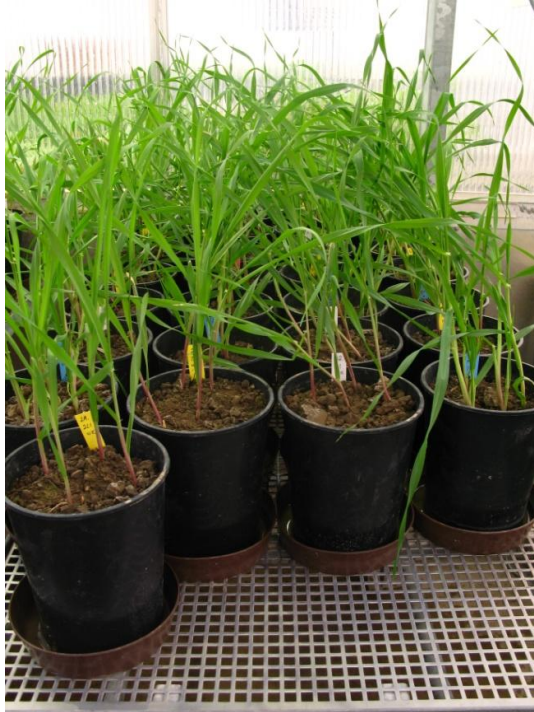
Alla kärl tillfördes en näringslösning innehållandes 0,6 g  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ , 0,3 g KCl, 1,3 g  $\text{MgCl}_2$  och 1 g  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Fosfor tillfördes i fast form, som  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)$  eftersom det inte var möjligt att lösa saltet med de andra näringsämnena utan att få fällningar och eftersom alla led inte fosforgödslades. Led som gödslades med fosfor tillfördes 0,5 g  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4) \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  per kruka. Mikronäringsämnen applicerades inte eftersom lerjorden bedömdes innehålla tillräckliga mängder. Fyra veckor efter sådd kompletteringsgödslades samtliga led med 0,4 g  $\text{NH}_4\text{NO}$  och 0,4 g KCl per kärl.

## 2.2 Analyser och mätningar

### 2.2.1 Skörd

Plantorna skördades den 6 april, fem veckor efter sådd, då hade kontrollplantorna i genomsnitt nått DC 32,6 (figur 2). Vid skörd mättes utveckling i form av stråskjutning (avstånd mellan noder och antal noder), antal sidoskott och antal blad på huvudskottet på samtliga plantor. För att bedöma utvecklingen använ-

des DC skalan. En bedömning gjordes också om plantornas stam var lilafärgad och om det fanns nekroser på bladen som kunde tyda på fosforbrist. Ytterligare en bedömning gjordes om plantorna hade andra bladfläckar.



Figur 2. Block 1 vid skörd. Plantorna hade börjat skjuta strå och 2-3 noder var synliga.

### 2.2.2 Analyser

Analyserna gjordes på institutionen för mark och miljö på SLU och enligt svensk standard. SLU:s laboratorium är med i Wageningen International plant analytical exchange.

Filtermaterial: De fyra filtren som använts för fosforrening i fält analyserades på innehåll av ammoniumlaktat- extraherbara och saltsyra- extraherbara (65 %) fraktioner av fosfor (P-AL, P-HCl), aluminium (Al-AL, Al-HCl), magnesium (Mg-AL, Mg-HCl), järn (Fe-AL, Fe-HCl) och kalcium (Ca-AL, Ca-HCl). Analys av det totala fosforinnehållet (P-HCl) i oanvända filter gjordes också efter uppslutning i salpetersyra (65 %). Vattenhalten i de använda filtren bestämdes genom att torka filtren i 50 grader, sedan i 105 grader och väga filtren före och efter behandlingarna.



Växtmaterial: Efter skörd torkades växtmaterialet ovan jord i 50 grader under sex dygn, vägdes och maldes innan det analyserades. Växtmaterialet i varje kruka analyserades på innehåll av P, C och N.

Jord: Den okalkade och den kalkade jorden extraherades med ammoniumlaktat och innehållet av fosfor, järn, aluminium och kalcium bestämdes. Kol- och kvävehalten i jorden analyserades också.

Kol- och kvävehalterna i jorden och växtmaterialet togs fram genom torrförbränning (LECO® CNS 2000). Övriga analyser gjordes på ICP efter extraktion med ammoniumlaktat (AL), saltsyra (HCl) och uppslutning i salpetersyra (HNO<sub>3</sub>) för bestämning av det lösliga och svårlösliga respektive det totala innehållet av fosfor, kalcium, magnesium, järn och aluminium.

Vid försöksstart bestämdes pH på jorden samt i filtren. Fem gram jord/filter slammades upp i 25 ml vatten och skakades sedan för hand innan pH bestämdes. pH mättes alltså direkt efter uppslamningen med jorden och skakningen. I första pH – mätningen på jorden och filtren användes tre replikationer (tabell 6 och 10).

En vecka efter sådd och en dag före skörd mättes pH både i kontrolleret och i led med tillsats av normal och hög dos filter/kalk. Eftersom det var önskvärt att kunna jämföra pH för den normala dosen av filtertiltsats med den höga dosen filtertiltsats och för att ändå begränsa arbetet mättes pH bara i ej fosforgödslade led och bara på den kalkade jorden. Fem gram jord/filter slammades upp i 25 ml vatten och fick stå över natten. Dagen därpå skakades blandningarna i en skakmaskin i 15 min, sedimenterades i 2 timmar för att sedan skakas om för hand precis innan pH mättes. pH mättes veckan därpå i kontrollen, eftersom den hade glömts bort. Kontrollen som inte fått fosforgödsling användes då för pH- mätningen för att kunna jämföra med resultaten från pH-mätningarna från kärl med filter/kalktillsats.

## 2.3 Statistik

Samtliga resultat analyserades statistiskt som ett två- eller trefaktoriellt komplett randomiserat blockförsök (Minitab 16).

Tre modeller användes för att analysera data. I den första modellen togs den höga dosen bort från data eftersom alla led inte hade behandlingen dos (tabell 11).

*Tabell 11. Ingående faktorer i modell 1*

Faktorer	DF
Block	3
Jord	1
Filter/kalk	5
Fosfor	1
Jord*filter/kalk	5
Jord*fosfor	1
Filter/kalk*fosfor	5
Jord*filter/kalk*fosfor	5
Totalt	26

Modell 2 och 3 gjordes enbart på den kalkade jorden och med såväl de låga som de höga doserna av filter/kalk. Gödslingen och filterdosen slogs ihop i vad som döptes till gödsling 1-3 (med P låg filterdos (1), utan P låg filterdos (2) och utan P hög filterdos(3)). I modell 2 analyserades alla led för den kalkade jorden, inklusive gödsling 1-3, fosforgödslade plantor var med. I modell 3 togs gödsling 1, fosforgödslade plantor, bort för att kunna se skillnader mellan filterdoser (tabell 12).

*Tabell 12. Ingående faktorer i modell 2 och 3*

Faktorer	DF
Block	3
Filter/kalk	5
Gödsling	2
Filter/kalk*gödsling	10
Totalt	20

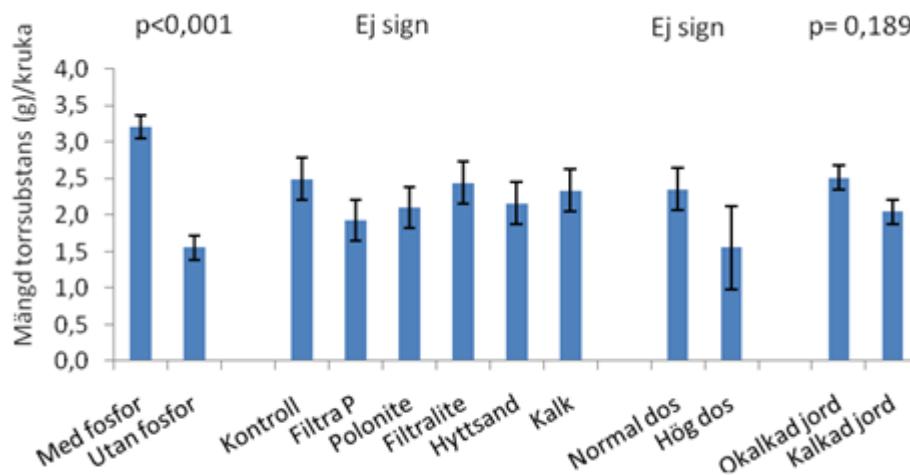
För att testa pH statistiskt gjordes Pearson- korrelationer modell 3, där pH-värdena lades in. pH ställdes i relation till de olika skörderesultaten för att se om signifikans och samband fanns. pH-kontrollerna togs bort ur statistiken eftersom de inte ingick i modell 3.

### 3. Resultat

Mängd torrsbstans, utvecklingsstadium vid stråskjutning, bladantal på huvudskotten, kolhalt och bladfläckförekomst skiljde mellan blocken. Att resultaten varierade mellan blocken kan ha berott på att temperaturen och luftfuktningen var olika i olika delar av växthuset.

#### 3.1 Tillväxt

Mängden korn, i form av torrsbstans skottbiomassa som producerats, påverkades framförallt av fosforgödslingen (figur 4). Den totala skottvikten i kärl som fått fosforgödsling var ca dubbelt så stor som i kärl utan fosforgödsling (figur 3).



Figur 3. Medelvärden av mängd skottbiomassa per kärl. P-värden <0,2 redovisas i figuren men endast p<0,05 betraktas som signifikant. Y- felstaplarna anger spridningen på data.

Filter/kalktillsatsen påverkade inte grödans produktion av torrsbstans signifi- kant men det fanns en tendens att biomassan var större med tillsats av Filtra P och Filtralite än med tillsats av Polonite, Hyttsand och kalk när bara led utan tillfört fosfor på den kalkade jorden ingick i analysen ( $p=0,072$ ). Biomassapro- duktionen tenderade att vara större med den okalkade jorden än med den kalka- de (figur 3).



Figur 4. En genomsnittlig kruka innehållandes fyra plantor vid skörd. Denna kruka har gödslats med fosfor.

Tabell 13. P-värden från ANOVA av modell 1, utan hög dos

Faktorer	Block	Jord	Filter/ kalk	Fosfor	Jord* filter/kalk	Jord* fosfor	Filter/kalk *fosfor	Jord* filter/kalk *fosfor	Förklarings- procent
DF	3	1	5	1	5	1	5	5	
Torrsubstans	0,007	0,189	ej sign.	<0,001	ej sign.	0,116	ej sign.	0,151	85 %
Stråskjutning	0,014	<0,001	ej sign.	0,091	ej sign.	ej sign.	ej sign.	ej sign.	15 %
Bestockning	ej sign.	0,076	0,067	<0,001	ej sign.	0,012	ej sign.	ej sign.	90 %
Bladantal	0,011	ej sign.	ej sign.	<0,001	ej sign.	0,136	ej sign.	ej sign.	25 %
Lila stråbas	ej sign.	0,053	ej sign.	<0,001	ej sign.	ej sign.	0,087	ej sign.	73 %
Bladspetsnekros	ej sign.	ej sign.	ej sign.	<0,001	ej sign.	ej sign.	ej sign.	ej sign.	60 %
Bladfläck	0,034	ej sign.	ej sign.	<0,001	0,151	ej sign.	ej sign.	ej sign.	24 %
C % i växt	ej sign.	ej sign.	ej sign.	0,009	ej sign.	ej sign.	ej sign.	ej sign.	4 %
N % i växt	ej sign.	ej sign.	ej sign.	ej sign.	ej sign.	ej sign.	ej sign.	ej sign.	0 %
P i växt	<0,001	ej sign.	ej sign.	<0,001	ej sign.	ej sign.	ej sign.	ej sign.	88 %
Tot-P (mg/kg)	0,017	0,174	ej sign.	<0,001	ej sign.	ej sign.	0,075	ej sign.	80 %

Tabell 14. P-värden från ANOVA av modell 2, med hög dos och gödsling 1-3

Faktorer	Block	Filter/kalk	Gödsling (1-3)	Filter/kalk *Gödsling (1-3)	Förklarings- procent
DF	3	5	2	10	
Torrsubstans	0,131	0,115	<0,001	0,097	81 %
Stråskjutning	0,054	ej sign.	<0,001	ej sign.	19 %
Bestockning	0,677	ej sign.	<0,001	ej sign.	86 %
Bladantal	0,097	ej sign.	<0,001	0,112	36 %
Lila stråbas	0,266	ej sign.	<0,001	0,174	86 %
Bladspetsnekros	0,108	ej sign.	<0,001	0,097	69 %
Bladfläck	ej sign.	ej sign.	<0,001	ej sign.	19 %
C % i växt	ej sign.	0,086	0,132	ej sign.	13 %
N % i växt	0,054	ej sign.	0,056	ej sign.	0 %
P i växt	0,019	ej sign.	<0,001	ej sign.	89 %
Tot-P (mg/kg)	0,014	ej sign.	<0,001	0,170	86 %

### 3.2 Fosforupptag

I genomsnitt innehöll kornet 3,2 g P/kg växtmaterial. Fosforhalten påverkades, precis som torrsubstansproduktionen, av fosforgödslingen ( $p < 0,001$ ). Led som fosforgödsplats innehöll i genomsnitt 4,2 g P/kg växtmaterial medan plantor utan fosforgödsling innehöll 2,5 g P/kg växtmaterial (tabell 15).

Den genomsnittliga mängden fosfor som grödan tog upp per kärl var 8,1 mg. Mängden fosfor som togs upp av växtmaterialet per kärl påverkades av fosforgödslingen ( $p < 0,001$ ). I genomsnitt var fosforupptaget störst med 14,1 mg fosfor per kärl i fosforgödslande led och minst med 3,9 mg fosfor per kärl i icke fosforgödslande led.

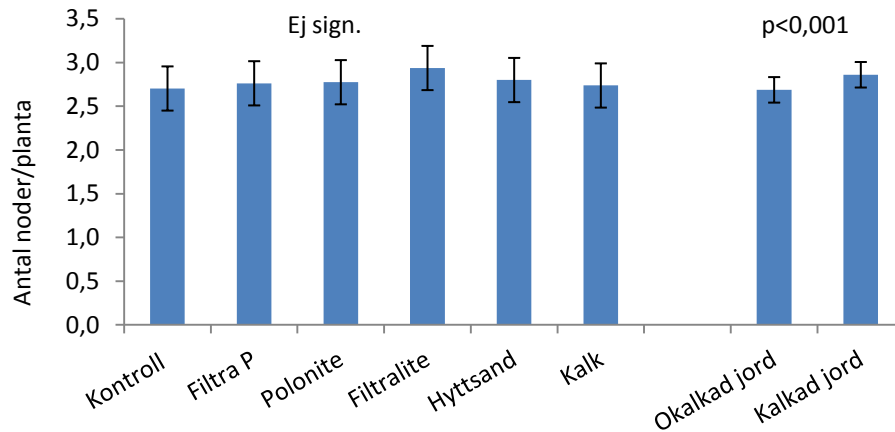
Filter/kalktillsatsen, dosen och jorden påverkade varken grödans fosforhalt eller total mängd upptagen fosfor signifikant. På den kalkade och ogödslande jorden tenderade dock fosforupptaget att skilja mellan filter ( $p = 0,052$ ). Filtertillsatsen av Filtra P och Filtralite tenderade att ge ett ökat fosforupptag, medan Polonite, Hyttsanden och kalken tenderade att ge ett minskat upptag av fosfor.



Figur 5. Fosforbristsymptom syntes i plantor som inte hade fått fosforgödsling. På bilden syns lila stråbaser och nekroser på de nedre bladen, tecken på fosfor-brist.

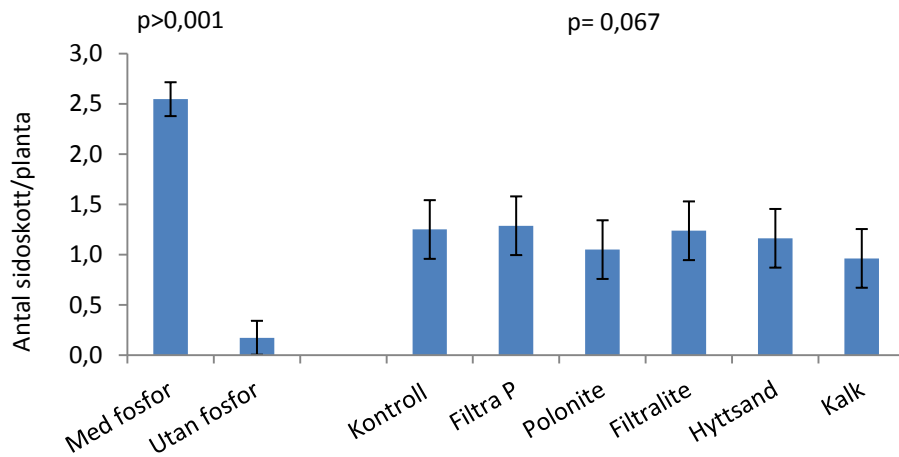
### 3.3 Plantornas utveckling

Alla plantor hade nått stråskjutning vid skörd (figur 6). På den kalkade jorden inträffade stråskjutningen tidigare. Filter/kalktillsatsen respektive fosforgödslingen påverkade inte stråskjutningen.

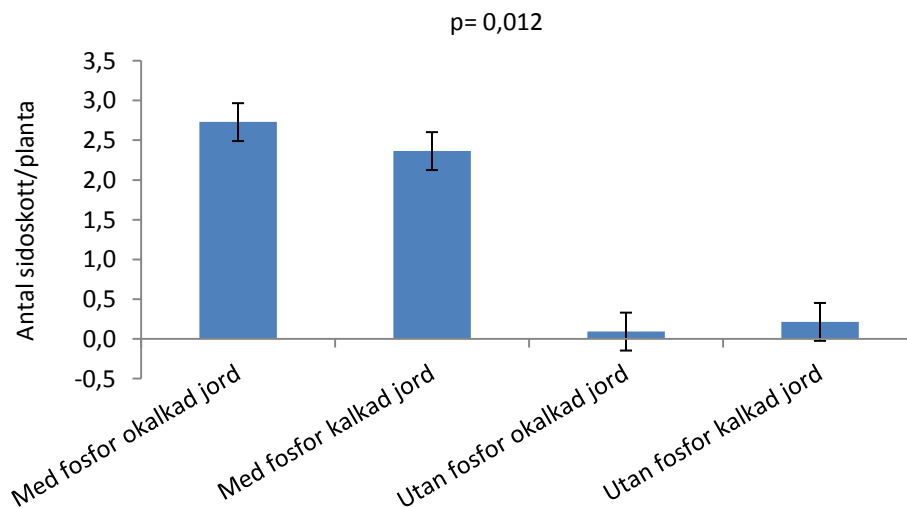


Figur 6. Stråskjutning i form av antalet synliga noder per planta. Staplarna visar medelvärden för kärl med ovan visade behandlingar. P-värden <0,2 redovisas i figuren men endast p<0,05 betraktas som signifikant. Y-felstaplarna anger spridningen på data.

Plantorna utvecklade i genomsnitt 1,2 sidokott. Plantor som hade fått fosfor utvecklade betydligt fler sidokott/planta än plantor utan tillförd fosfor (figur 7). Det fanns en interaktion mellan fosforgödsling och jord där fosforgödslade plantor utvecklade fler sidokott på den okalkade jorden än på den kalkade jorden (figur 8). Plantor utan tillförd fosfor fick relativt fler sidokott på den kalkade jorden än på den okalkade jorden (tabell 13).



Figur 7. Antal sidskott som producerats per planta. Jämförelser i medelvärden för kärl med ovan nämnda behandlingar. P-värden <0,2 redovisas i figuren men endast p<0,05 betraktas som signifikant. Y-felstaplarna anger spridningen på data.

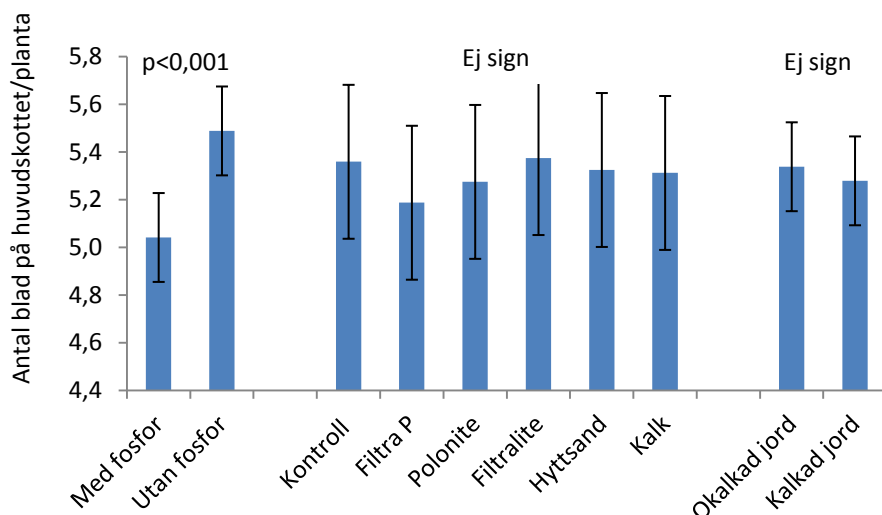


Figur 8. Antal sidskott som producerats per planta. Jämförelser i medelvärden för kärl med ovan nämnda interaktioner av behandlingar. P-värdet för interaktionerna redovisas i figuren. Y-felstaplarna anger spridningen på data.

Tillsats av Filtra P, Filtralite och Hyttsand tenderade att öka grödans produktion av sidskott jämfört med kontrollen i kärl som hade fått fosforgödsling medan Polonite och kalken tenderade att minska produktionen jämfört med kontrollen (tabell 13).



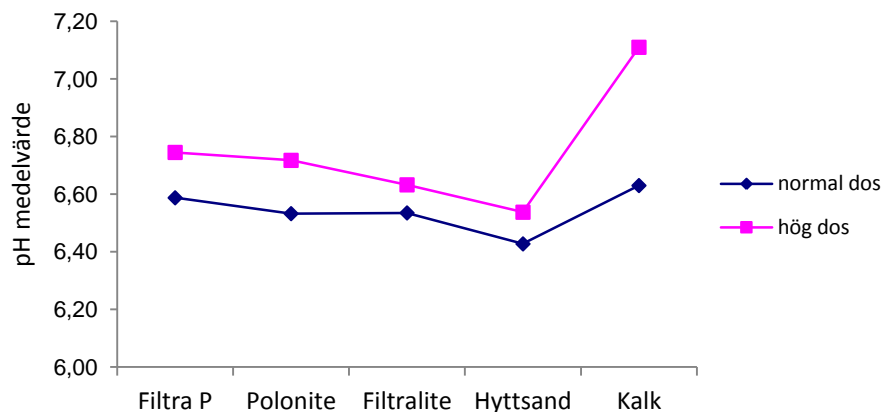
Plantorna hade i genomsnitt 5,3 synliga blad på huvudskottet. Plantor som fått fosforgödsling utvecklade något fler blad på huvudskottet än plantor utan fosforgödsling (figur 9).



Figur 9. Antal blad per huvudskott. Jämförelser mellan plantor som har och inte har fått fosforgödsling, mellan kontroll, filter och kalktillsatsen samt i den okalkade och den kalkade jorden. Fler blad utvecklades på huvudskottet hos plantor som inte hade fått fosforgödsling. P-värden <0,2 redovisas i figuren men endast  $p < 0,05$  betraktas som signifikant. Y-felstaplarna anger spridningen på data.

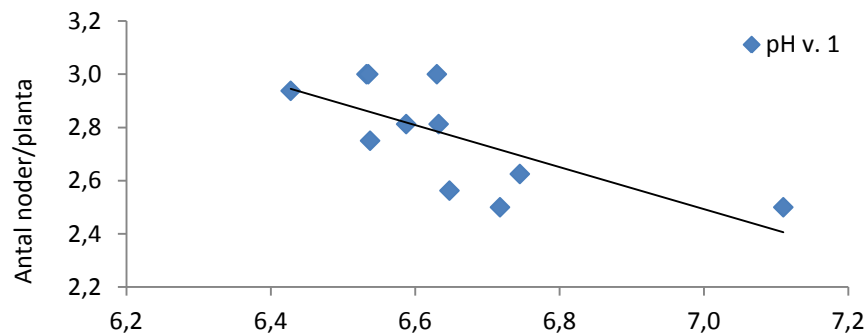
### 3.4 pH

Jorden i samtliga undersökta kärl buffrade mot kalkningseffekten som tillsatsen av filter och kalk medförde. En vecka efter sådd var pH-värdet i genomsnitt 6,56 i kärl som fått den normala dosen av filter/kalk medan de som fått den högre dosen i medel hade pH 6,75 (figur 10). Skillnaderna var små men signifikanta både för filter/kalktillsats och för dos. Kontrolleret togs bort ur figur 10 eftersom kontrollen mättes vid en annan tidpunkt och därmed inte gick att jämföra med filter/kalkleden. Vid skörd hade pH i kärnen sjunkit till 6,54 i medeltal, 6,48 med den låga dosen och 6,60 med den höga dosen ( $p=0,026$ ). Skillnaderna mellan enskilda filter hade då jämnats ut och påverkade inte pH signifikant.



Figur 10. pH-värdet i kärl som hade filter/kalktillsats i jorden en vecka efter sådd. Skillnader i pH kunde tillskrivas filter/kalktillsatsen ( $p < 0,001$ ) och dosen ( $p < 0,001$ ). En dag före skörd hade skillnaderna mellan enskilda filter jämnats ut och påverkade inte längre pH signifikant.

De kärl som hade ett högre pH-värde i jorden en vecka efter sådd hade inte kommit lika långt i stråskjutning som kärl med ett lägre pH (figur 11). Stråskjutningen tenderade att vara fortsatt försenad på grund av pH hos plantor i kärl med högre pH vid skörd ( $p = 0,057$ ), något som den högre dosen i flera fall medförde. Mängden producerade sidoskott och bladantalet påverkades inte signifikant av pH.



Figur 11. Stråskjutningen inträffade senare i kärl som hade ett högre pH i jorden en vecka efter sådd ( $p = 0,010$ ).

Under försöket uppträdde bladfläckar på en del plantor, både i kontroller och i kärl med filter/kalk, som inte liknade symptomen för fosforbrist. Fläckarna förekom främst i nedre blad och ledde med tiden till nekroser av hela bladen som var drabbade.



Figur 12. Bladfläck som uppträdde på nedre bladen i vissa kärl. Det nedre bladet på bilden är friskt.

### 3.5 Övriga mätvärden

Grödans kväveinnehåll varierade inte mycket och låg i snitt på 4,9 (tabell 15). Kolhalten var i genomsnitt 40,1 %. Kolhalten var i medeltal 39,9 % i icke fosforgödslade plantor och i medeltal 40,4 % hos fosforgödslade plantor ( $p=0,009$ ). Ett högre pH i kärnen tenderade att minska kolhalten i grödan ( $p=0,084$ ).

Tillsatsen av Filtra P och Filtralite tenderade att minska kolhalten i grödan. Tillsatsen av Polonite, Hyttsand och kalken hade motsatt effekt på grödan och ökade kolhalten.

Tabell 15. Medelvärden för torrsbstans, upptaget fosfor samt kol- och kväveinnehåll i grödan.  
Se tabell 4 för beskrivning av leden

Led	Ts. %	Ts (g)	Tot-N %	Tot-C %	mg/kg	mg
					Tot-P	Tot-P i växt
1	95,2	1,5	5,1	40,3	2491	3,8
2	95,4	3,5	4,8	40,5	3821	13,5
3	95,0	3,6	5,0	40,5	4391	15,5
4	95,4	3,3	4,8	40,5	4025	13,1
5	95,5	3,8	5,2	40,1	4112	15,6
6	95,3	3,4	4,9	40,2	4187	14,0
7	95,4	3,5	4,8	40,8	3933	13,6
8	96,0	1,7	4,9	39,4	2439	4,3
9	95,4	1,5	4,8	40,1	2337	3,5
10	95,2	1,6	4,9	40,1	2504	4,1
11	95,0	1,3	5,0	40,2	2445	3,3
12	94,9	1,4	5,1	40,3	2595	3,7
13	94,9	1,4	5,3	39,7	2687	3,9
14	95,7	3,5	4,8	40,8	3943	14,0
15	95,4	3,6	5,0	40,1	4025	14,6
16	95,4	3,0	5,1	39,9	4687	13,9
17	95,1	3,3	5,1	41,0	4333	14,1
18	95,4	2,8	5,2	39,6	4699	13,1
19	95,4	3,4	4,7	40,9	3932	13,5
20	95,1	1,4	4,9	39,3	2338	3,3
21	95,2	1,6	5,0	39,5	2407	3,9
22	95,3	1,6	4,9	40,3	2697	4,2
23	95,2	1,8	4,8	40,1	2431	4,4
24	95,2	1,7	5,0	39,7	2659	4,7
25	95,2	1,5	5,1	38,9	2506	3,9
26	95,3	1,1	5,1	40,0	2427	2,7
27	95,6	1,9	5,0	40,0	2575	5,0
28	95,4	1,5	4,8	40,3	2441	3,7
29	95,4	1,7	5,1	39,9	2419	4,0

## 4. Diskussion

Eftersom tydliga effekter av fosforgödslning kunde ses på grödan fanns förutsättningar att upptäcka om filtren hade en fosforgödslningseffekt. Tillsats av filtermaterial till jord verkar dock inte ha påverkat grödans tillväxt eller utveckling i någon riktning. Det är därför inte troligt att den fosfor som fanns bunden i filtren blev växttillgänglig under den första tiden efter tillsatsen av filtren till jord. Det verkar inte heller vara så att filtren bundit några betydande mängder av den fosfor som redan fanns i jorden, vilket kunde ha lett till ett minskat fosforupptag i led med tillfört filtermaterial. Filtren hade ungefär samma koncentration fosfor som jorden vilket gör filtrens potentiella gödslningseffekt liten. I de fall filtren innehåller mindre fosfor än jorden sker snarare en utspädning av markens fosfor, vilket skulle kunna leda till ett minskat fosforupptag. I förhållande till de mängder fosfor som läggs på jord vid gödslning är fosformängderna i filtren små och kan inte ersätta annan gödslning. Enligt tillverkarna kan filtren fånga större mängder fosfor innan de når fosformättnad än vad filtren som användes i denna studie gjorde. Det var därför möjligt att filtren skulle fortsätta binda fosfor när de tillfördes jorden i försöket och på så vis göra en del av jordens fosfor otillgänglig för grödan. Någon sådan tendens observerades dock inte i försöket. Filtertillsatsen påverkade varken grödans tillväxt, utveckling eller fosforupptag, trots den i vissa led mycket väl tilltagna dosen.

I likhet med flera tidigare studier har denna studie gjorts på korn, vilket underlättar en jämförelse av resultaten. Tidigare försök har också i flera fall bedrivits som kärlförsök i växthus på samma sätt som detta försök. Den mest påtagliga skillnaden mellan denna och tidigare studier (t.ex. Cabañas, 2009) är att filtermaterialet som tillfördes odlingsjorden inte var mättat på artificiell väg, utan hade använts för fosforrening i fält innan det användes i försöken. Filtren togs upp och återfördes efter en rimlig användningstid i fält, och innehöll därför mindre mängder fosfor än de fosformättade filtren som t.ex. Cabañas (2009)

använde. Cabañas fann tendenser till en ökad skörd av korn vid tillsats av filtren Filtra P och Polonite till jord. Tillsatsen av Filtra P och Filtralite gav i denna studie en tendens till ökad produktion av skottbiomassa jämfört med Polonite och Hyttsand i led som inte fosforgödslats och odlats på den kalkade jorden. Någon ökning av skottbiomassan jämfört med kontrollen utan tillfört filter vid normal fosforgödsling observerades dock inte. Det fann däremot Cabañas vid odling av engelskt rajgräs på jord som tillförts Polonite eller Filtra P. Resultatet skiljer sig från Hylanders (2006), som fann att tillsats av Polonite ökade skörden av korn. Det har bedrivits betydligt mindre studier på tillsats och gödslings-effekter av Filtralite och Hyttsand till jord, varför det var extra intressant att studera dessa filter.

De tendenser till filterpåverkan som syntes i detta försök var fler när grödan hade fosforbrist. Det är därför inte omöjligt att den fosfor som fanns i filtren då användes av kornet men kan också vara en annan effekt filtren hade. De tendenser till skillnader i tillväxt, mängd sidoskott, fosforupptag, kolhalt och kvävehalt som observerades i försöket antyder att filtren kan påverka grödan. Hade filtrens effekt varit stor borde den dock ha syntes som en signifikant skillnad i försöket.

Utvecklingen gick snabbare och biomassan blev större på den initialt okalkade jorden än på den initialt kalkade jorden. Orsaken till detta är oklar, men trots kalkningen skiljde inte de båda jordarnas pH sig speciellt mycket från varandra. Den initialt kalkade jorden var inte kalkad sedan 1974, vilket var länge sen. En tänkbar effekt av kalkningen är att större skördar tagits ut på den jorden (Mattsson, 2001), varför den kalkade jorden kan vara mer utarmad på växtnäringsämnen än den okalkade. Både den kalkade och den okalkade jorden buffrade väl mot de pH-förändringar som filtren och kalken gav upphov till. Jordar med lägre lerhalt kan dock inte förväntas buffra lika mycket, varför grödans tillväxt på lättare jordar kan hämmas mer vid spridning av använt filtermaterial. Därför vore det intressant att undersöka filtrens effekt på grödan på lättare jordar. Jorden på Lanna valdes eftersom fosforbristen förväntades bli tydlig på jorden. Den förväntades dessutom ha god buffringskapacitet och därmed påverkas mindre av filtrens/kalkens pH-effekt.

Det något förhöjda pH som filtren medförde, i framförallt den höga dosen, försenade stråskjutningen. Vad detta berodde på är oklart. En långsammare utveckling resulterar ofta i en större total tillväxt. Om den långsammare utveck-

lingen beror på näringsbrist skulle dock tillväxten blivit mindre. Vid brist hade dessutom en snabbare utveckling lett till en ännu mindre tillväxt, eftersom växten då haft ännu svårare att hitta det näringsämne som det är brist på i tid.

Vissa plantor drabbades av bladfläckar, vilket kan ha berott på det förhöjda pH som filtertiltsatsen och/eller kalkningen bidrog till. Bladfläckarna borde då ha varit mest tydliga på plantor som växt i den kalkade jorden. Fläckarna syntes dock på plantor i både den kalkade och den okalkade jorden. pH mättes i led med kalkad jord som inte fått fosforgödsling eftersom dessa led hade både den normala och den höga dosen av filter/kalk. Dessvärre uppträdde inte bladfläckarna på någon av dessa plantor, varför det var omöjligt att besvara om pH påverkade uppkomsten av fläckarna. Fläckarna syntes bara i fosforgödslade plantor, vilka hade en större biomassa. En större biomassa kräver också mer näring, varför det är möjligt att det var brist på något näringsämne för de plantor som fått fosforgödsling, med bladfläckarna som följd. Enligt tillkallad expert i växtpatologi var fläckarna inte orsakade av någon sjukdom (Djurle, A., pers. medd., 2011).

Eftersom försöket endast pågick i fem veckor kan inga slutsatser dras kring filtrens långsiktiga fosforlevererande eller -bindande förmåga. Ett rimligt antagande är att fosfor som tillförs åkermark förr eller senare blir tillgängligt, vilket på sikt minskar behovet av att tillföra fosfor. Om materialet som tillförs innehåller mindre fosfor än jorden blir effekten dock den motsatta. Den stora samhällsvinsten med att använda fosforfilter är givetvis att det minskar övergödningen av sjöar och kustnära hav.

Resultaten från IVL Svenska Miljöinstitutets försök att testa reningsförmågan hos de undersökta filtren i fält är ännu inte officiella. Enligt IVL ligger avskiljningsförmågan i storleksordningen 45 % för det vatten som passerar filtren (Ekstrand, S., pers. medd., 2011). Filtren avses då i första hand användas på högläckande mark, alltså mark som läcker mer än 0,8 kg/ha (genomsnitt kanske 1 kg/ha). Med en damm av tillräcklig storlek anlagd vid filtret kan större delen av vattnet från tillrinningsområdet ledas genom filtret, åtminstone ca 80 %. Det ger ett upptag på ca 0,4 kg per ha och år, per ca 750 kg filter. I genomsnitt läcker 0,4 kg P/ha och år från jordbruksmark (Jordbruksverket, 2008). Filtren har alltså potential att rena stora delar av läckaget. Enligt IVL hade filtren i denna studie fångat i genomsnitt 53 mg P-TOT per kg filter efter 16 månaders användning i fält. Detta antyder att de kan användas under en längre tid än den av fil-

terföretagen angivna tiden för rening av avloppsvatten, 1-2 år, innan de är så fyllda med fosfor att adsorptionsförmågan avtar. Att filtren kan användas under längre tid om de används för att fånga fosfor från jordbruksmarksdränering är logiskt eftersom sådant vatten innehållet mycket mindre fosfor än vad avloppsvatten gör. Även om filtren kan återföras till jord i den form de är idag finns möjligheten att optimera deras funktion för användning till jordbruksmark så att mer fosfor fångas under filtrens livstid i fält. Ju mer fosfor som har fångats i filtren ju mer finns också att återföra och potentiellt gödsla med. Andra faktorer, såsom filtrens sjunkande pH vid användning, vilket minskar adsorptionsförmågan, har större inverkan på filtrens livslängd än vad själva adsorptionsförmågan har (Bioptech, 2010). Det vore önskvärt om rekommendationer kring maximal giva, livslängd, lämplig storlek på avrinningsområde och optimalt pH togs fram för kommersiella filter tänkta att fungera som fosforfällor på jordbruksmark.

Enligt IVL Svenska Miljöinstitutet fungerar kombinationsmetoden med en damm där fosfor får sedimentera innan vattnet leds in i filtren utjämnande på toppar i flödena som kan minska filtrens effektivitet. Metoden kan i sig vara mycket effektiv, både ur reningssynpunkt och ur kostnadssynpunkt. Om filtren kan återföras till jordbruksmark utan att ge negativa konsekvenser för grödan är detta en mycket lovande metod för att förhindra fosforutlakning från jordbruksmark. För att filtrena ska kunna återföras krävs att de kan spridas på ett lämpligt och relativt enkelt sätt. Vid ett samtal med en kalkningsentreprenör framgick att mindre mängder än tre ton kalk/filtermaterial är svårt att sprida (Pettersson, M, pers. medd., 2011). Filtermaterial från flera lokaler kan då behöva samlas ihop för att ”fylla” spridaren. Möjligheten att blanda filtermaterialet med gödsel och sprida det i samband med gödselspridning är också något som kan vara intressant att testa.

För att fosforfilter ska bli en åtgärd för lantbrukare som vill minska sina fosforförluster krävs att fosforfiltrens effekt under olika förhållande undersöks noga och kommuniceras till lantbrukare och politiker. När filtrens goda effekter är dokumenterade finns förutsättningarna att undanröja juridiska, ekonomiska och sociala hinder för användandet av fosforfilter. Lyckas man med detta kan fosforfilter utgöra ytterligare en av flera åtgärder som är stödberättigade och som tillsammans kan bidra till att minska den övergödning av sjöar och hav som beror på fosforläckage från jordbruket.



## 5. Slutsatser och rekommendationer

Korn som odlats i jord från försök (R3-1001) i Lanna ökar sin tillväxt och sitt fosforupptag betydligt om fosfor tillförs.

Inget av de fyra fosforfiltren Filtra P, Polonite, Filtralite och Hyttsand ökade eller minskade tillväxten eller fosforupptaget signifikant hos korn som odlats i försöksjorden när filtermaterial, som använts i 16 månader, blandades in i jorden enligt proportioner som motsvarar vad som skulle läggas på om filtren användes för sina kalkningsegenskaper. Att grödans fosforupptag inte påverkades av filtertilförseln indikerar att tillgängligheten hos jordens fosfor inte heller påverkades. Långsiktiga effekter på grödans tillväxt, utveckling och fosforupptag samt filtrens förmåga att frigöra/binda fosfor vid filtertilförsel till odlingsjord är önskvärt att studera vidare.

I vidare studier hade det varit intressant att följa fosfor i filtrena genom att använda isotopmärkt fosfor eller att jämföra filter med olika fosformättnadsgrad. För att undersöka om ett mättat filter släpper fosfor lättare än ett mer omättat filter vid tillförsel till jord skulle dessa två metoder kunna kombineras.

Fosforfilters främsta egenskap vid återföring till jord är dess kalkeffekt.

## 6. Referenser

### Litteratur

Curacella Cabañas V. (2009) Recycling filter substrates used for phosphorus removal from wastewater as soil amendments. Diss. Stockholm: KTH.

Curacella Cabañas V. Zaleski, T., Mazurek, R., Renman, G. *Bioresource Technology* (2008). Effect of reactive substrates used for removal of phosphorus from wastewater on the fertility on acid soils. 2008: 4308-4314

Eriksson, J., Nilsson, I. & Simonsson, M. 2005. Wiklanders marklära. Studentlitteratur, Lund. s. 231

Eveborn, D. 2003. Småskalig rening av avloppsvatten med Polonite-filter. TRITA-LWR Master Thesis, Kungliga tekniska högskolan, Stockholm.

Fogelfors H. (2001) Växtproduktion i jordbruket. Borås. Natur och Kultur /LTs förlag. ISBN: 91-27-35292-7

Hylander, L. D., Kietlinska, A., Renman, G., Siman, G. 2005. Phosphorus retention in filter materials for wastewater treatment and its subsequent suitability for plant production. *Bioresource Technology* 2005 (accept. for publ.).

Hylander, L. D., Kietlinska, A., Renman, G. & Hyula, S., 2006, Phosphorus retention in filter materials for wastewater treatment and its subsequent suitability for plant production. *Bioresource Technology* 97(2006) 914-921.

Johansson, L., Hylander, L.D., Renman, G. 1999. Små avlopp för kretslopp-sorption till reaktiva filter. *VATTEN* 55: 173-179, Lund

Johansson, L. Gustafsson, J. P. 2000. Phosphate removal using blast furnace slags and Opoka-mechanisms. *Water Research*. Vol. 34, No. 1. pp. 259-265. Elsevier Science Ltd.

L. Bergström, J. Linder, R. Andersson. Fosforförluster från jordbruksmark – vad kan vi göra för att minska problemet? Jordbruksinformation 27-2008. Jordbruksverket. Jönköping. ISSN 1102-8025.

Kvarnström, M.E., Morel, A.L, Krogstad, T., 2004. Plant availability of phosphorus in filter substrates derived from small scale wastewater treatment systems. Ecol. Eng. 22, 1-15.

Mattsson, L. 2001. Växtnäringsförsök 2000. Skörderesultat med växt och jordanalyser. Rapport specialnummer 11. Institutionen för markvetenskap. Avdelningen för växtnäringslära. ISSN 0348- 3541. SLU, Uppsala, 2001.

Stark, T. 2004. Fosforanskiljning i reaktiva filter vid småskalig avloppsrening. Examensarbete, UPTEC W 04 023, Institutionen för geovetenskaper, Uppsala universitet, Uppsala.

### Personligt meddelande

Djurle, A. Institutionen för skoglig mykologi och patologi. Personligt meddelande, 2011-04-30. SLU, Uppsala

Ekstrand, S. IVL Svenska miljöinstitutet. Personligt meddelande, 2011-06-22. Email.

Pettersson, M. Kalkningsentreprenör Mälardalen. Personligt meddelande, 2010-11-22. Kungsör.

### Internet

Biotech. Hemsida. Allt om Polonite®. [online] Tillgänglig:

www.biotech.se

[http://www.biotech.se/dokumentarkiv/allt\\_om\\_polonite.pdf](http://www.biotech.se/dokumentarkiv/allt_om_polonite.pdf)

[2010-10-25]

[http://www.biotech.se/visa\\_info.asp?PostId=6&Avdelning=001&Sidrubrik=POLONITE%AE&e](http://www.biotech.se/visa_info.asp?PostId=6&Avdelning=001&Sidrubrik=POLONITE%AE&e)

[2011-06-23]

Baltic Sea 2020. Hemsida. Övergödning. [online] Tillgänglig:

[http://www.balticsea2020.org/index.php?option=com\\_content&view=article&id=125&Itemid=82&lang=se](http://www.balticsea2020.org/index.php?option=com_content&view=article&id=125&Itemid=82&lang=se)

[2011-04-26]

HELCOM -Helsinki Commission. Hemsida. HELCOM Baltic Sea Action Plan. [online] Tillgänglig:

[http://www.helcom.fi/BSAP/en\\_GB/intro/](http://www.helcom.fi/BSAP/en_GB/intro/)

[2010-03-27]

Jordbruksverket. Hemsida. 64 åtgärder inom jordbruket för god vattenstatus.  
[online](2008-11-20) Tillgänglig:  
[www2.jordbruksverket.se/webdav/files/SJV/.../ra08\\_31.pdf](http://www2.jordbruksverket.se/webdav/files/SJV/.../ra08_31.pdf)  
[2010-11-01]

Jordbruksverket. Hemsida. Jordbruket och övergödningen.[online](2011-05-04)  
Tillgänglig:  
<http://www.jordbruksverket.se/amnesomraden/miljoochklimat/ingenovergodning/jordbruketochovergodningen.4.4b00b7db11efe58e66b80001608.html>  
[2011-06-22]

Naturvårdsverket. 2009. Sveriges åtagande i BSAP. Rapport 5985 NV. Tillgänglig:  
<http://www.naturvardsverket.se/Documents/publikationer/978-91-620-5985-9.pdf>  
[2010-03-27]

Nordkalk AB. Hemsida. Filtra P. Tillgänglig:  
<http://www.nordkalk.se/default.asp?viewID=1681>  
[2011-06-22]

SSAB Merox AB. Hemsida. Hyttsand. Tillgänglig:  
<http://www.merox.se/index.pl/hyttsand2> [2011-06-22]

# Appendix I

## Information om filtren

### Filtra P

Filtret är ett granulärt filtermaterial som utvecklats av Nordkalk AB för att avskilja löst fosfor i avloppsvatten (Nordkalks informationsblad, 2004). Produkten, som består av kalk, gips och järnföreningar och är tillverkad i Nakkila i Finland, lämpar sig bland annat för rening av avloppsvatten från fastigheter, vatten från mjölkgårdar, rastområden för boskap, belastade avrinningsvatten samt dräneringsvatten från deponier. Råmaterialet som tas från Gotland består av bränd kalk och järnhaltig gips (Produktblad, 2004).

### Polonite®

Polonite® är en processad bergart som har tagits fram med avsikt att kunna användas som fosforfälla. Filtret produceras av Bioptech i Polen och används främst till rening av fosfor vid småskalig avloppsrening men kan även urskilja metaller från olika vattenflöden. Råmaterialet som ligger bara några centimeter ner i marken fraktioneras i flera steg och hettas därefter upp i en naturgaseldad ugn. Slutprodukten förvaras i ett lager i Hallstavik.

Försök har gjorts där Polonite® har återförts till åkermark vilket har bevisat att den upptagna fosfor kan återföras till växterna. Redan 2007 gjordes försök att återföra Polonite® till jordbruksmark i södra Polen. Filtrets kalkande effekt gav en positiv effekt redan vid första skörden. Produkten innehåller inget kvicksilver eller kadmium, varför den lämpar sig för återföring till marken. Spridning rekommenderas att lantbrukaren själv sköter med en spridare. Doseringen av Polonite® vid återföring till jordbruksmark efter användning bör anpassas efter markens behov av kalk. Utifrån resultaten som erhöles i Polen så kan en lämplig dos vara 0,5-1kg/m<sup>2</sup>.

Produktens höga pH som initialt är > 12 bidrar till att döda eventuella bakterier. Det höga pH gör även det utgående vattnet alkalint vilket motverkar försurningen av åkermarken vid återföring. Polonite® innehåller organiskt material, vilket kan påverka dess verkan på jordbruksmark.

Poloniten® är enligt Bioptech ett så kallat passivt filter som inte behöver doseras eller omröras under användning varför skötseln är enkel. Det rekommenderas att användaren byter filter varje till vartannat år eller när pH understiger 9 för att bibehålla en reduktion på 90 % av fosfor (Bioptech, 2010).

### Filtralite-P

Weber (tidigare Maxit Group AB) i Norge producerar detta filtermaterial som används till såväl avloppsrening och rening av dricksvatten.

Ursprungsmaterialet till Filtralite är lera som hettas upp till 1200 °C. Vid upphettningen bildas gaser i den expanderande lera vilka skapar porer. Porerna

bildar en labyrintliknande struktur och har varierande storlek på en till två millimeter. Den höga porositeten ger materialet en stor kontaktyta. Det organiska materialet i leran förbränns vid upphettningen (Weber, 2007).

#### Hyttssand

Produkten härstammar från Masugnsslagg som är en biprodukt vid framställning av råjärn. Beroende på hur masugnsslaggen kyls bildas två huvudprodukter; Hyttssand och Hyttsten. Om masugnsslaggen kyls ner snabbt med vatten bildas Hyttssand vilket är en amorf, sandlik produkt som har latent bindningsegenskaper. Detta gör att produkten efter malning och aktivering hårdnar på samma sätt som cement. Masugnsslaggen används som vägmateriäl, i cementindustrin samt som jordförbättringsmedel (SSAB, Merox AB, 2005).

## Appendix II

### Beräkning av jordens kalkbehov

Omkalkningen av jord 2 skedde under 70-talet. På jordarna föreligger inget kalkbehov men ett teoretiskt kalkbehov beräknades, med hjälp av Lennart Mattsson på institutionen för mark och miljö, för att bestämma mängden kalk (och filter) som skulle appliceras jordarna. Även detta gjordes för att efterlikna en verklig fältsituation.

Tabell 16. Medeltal för analyser 1983, 1989 och 2001 för CEC och S. För pH även 1995 och

	pH, matjord	CEC, me/kg	S, me/kg	Basmättnad, %
Led	Mean	Mean	Mean	Mean
111	6.5	19.7	13.7	69.4
211	7.0	19.7	16.4	83.4

2007 (Mattsson, 2010)

Antag att vi sätter målet 100 % basmättnad. Då får vi;  
100\*CEC-13, 7=me/100 g jord (me=milliekvivalenter)

Det ger;

Led 111:  $me=1*19,7-13,7=6$  me/100 g jord

Led 211:  $me=1*19,7-16,4=3,3$  -"-

1 me =28 mg=0.028 g CaO

1 me/100 g jord=0.28 g/kg jord

På ett ha till 0.2 m djup finns  $10000*0.2*1250$  kg jord (volymvikt 1250 kg m<sup>-3</sup>)

1 me/kg jord betyder alltså  $0.28*2.5*10^6 *10^{-3}=0.7*10^3$  kg CaO/ha

För att höja basmättnaden 1 me krävs 700 kg CaO ha<sup>-1</sup>.

Led 111 kalkas med motsvarande  $(0,834*19,7-13,7)*700=1910$  kg CaO ha<sup>-1</sup>.

Dvs att leden jämföras med avseende på basmättnadsgraden. Det är detta kalkbehov som användes för uträkningar av doser för såväl kalk som filtermaterial.