

# Strukturkalkning av åkermark – ett sätt att minska jordbrukets bidrag till eutrofiering av vatten

*Structural liming of arable land – a way to reduce agriculture's  
contribution to eutrophication of water*

Henrik Roth



Kandidatuppsats i biologi  
Agronomprogrammet – inriktning mark/växt



# Strukturkalkning av åkermark – ett sätt att minska jordbrukets bidrag till eutrofiering av vatten

*Structural liming of arable land – a way to reduce agriculture's contribution to eutrophication of water*

**Henrik Roth**

**Handledare:** Åsa Myrbeck, institutionen för mark och miljö, SLU

**Examinator:** Lars Bergström, institutionen för mark och miljö, SLU

**Omfattning:** 15 hp

**Nivå och fördjupning:** Grundnivå, G2E

**Kurstitel:** Självständigt arbete i biologi – kandidatarbete

**Kurskod:** EX0689

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

**Kursansvarig institution:** mark och miljö

**Utgivningsort:** Uppsala

**Utgivningsår:** 2018

**Omslagsbild:** foto: R. Kautsky/Azote <https://www.havet.nu/?d=190&id=41467>

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

**Delnummer i serien:** 2018:17

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

**Nyckelord:** strukturkalkning, eutrofiering, fosfor

Sveriges lantbruksuniversitet  
Swedish University of Agricultural Sciences

Fakulteten för naturresurser och jordbruksvetenskap  
Institutionen för mark och miljö



## Sammanfattning

I denna litteraturstudie analyseras effekten av strukturkalkning på lerjordar, vilka har en hög utlakningsbenägenhet för fosfor. Syftet var att undersöka strukturkalkning som åtgärd för att minska jordbrukets bidrag till eutrofiering av vattendrag. Sekundära aspekter såsom ekonomi berörs för att diskutera om strukturkalkning är en realistisk åtgärd som kan tillämpas utan ekonomisk förlust. Av studerat material framgår positiva samband mellan strukturkalkning och minskad fosforutlakning. Resultatet påvisar att strukturkalkningens pH-höjande effekt förändrar fosfors bindningsegenskaper i marken. Vid ett optimalt pH-värde mellan 6-7 binder fosfor till kalciumjoner vilket leder till ökad löslighet och tillgänglighet för växterna. För lägre respektive högre pH-värde innebär det att fosfor bildar svårösta föreningar med metalljoner eller karbonater och blir otillgänglig för växtlighet. Kalk förbättrar även markstrukturen genom långsamma och snabbartade processer som leder till biologiska, kemiska och fysikaliska förändringar. Sammanfattningsvis skapar detta en markstruktur med högre infiltrationsförmåga, förstärkt aggregatstruktur, minskad tendens för ytavrinning och inre erosion. Strukturkalkning skapar även en gynnsam växtplats för grödan och påverkar avkastningen positivt. Vilken form av kalk som används är viktig för effekten, där kalkprodukter som har sitt ursprung från industrier, påvisar sämre slutresultat än kalkmedel som innehåller fri kalk. Från försöksverksamhet framgår reducerade fosforförluster under lång tid efter strukturkalkning. Ytterligare forskning på kalkprodukters inverkan på stabiliserande effekter på markstrukturen behövs för att avgöra strukturkalkningens långsiktiga effekter på fosforläckage. Av försök framgår även att kalkfilterdiken, med syfte att minska fosforutlakningen, riskerar att öka kväveläckaget. Underlag för huruvida strukturkalkning påverkar kväveläckage behövs för att avgöra om strukturkalkning kan minska jordbrukets påverkan på mängden växtnäring till vattendrag och därmed på förutsättningarna för att uppnå miljömålet "Ingen övergödning". Det är dock tydligt att strukturkalkning förlänger fosfors tid i marken och ökar möjligheten för växter att utnyttja den som näring. Med ett förändrat nederbördsmonster i framtiden är det troligt att intresset för strukturkalkning kommer att stiga då utlakningsbenägenheten för fosfor förväntas öka.

## Abstract

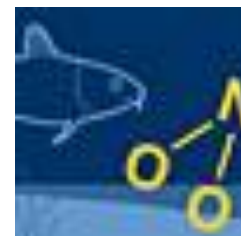
In this review article, the effect of structural liming on clay soils, which have a high leakage potential for phosphorus (P), was analyzed. The purpose was to investigate structural liming as a method to reduce the impact of agriculture on eutrophication of water sources. Secondary aspects such as economy are concerned in order to discuss whether structural liming is a realistic technique that can be applied without financial loss. From studied material, there is a positive correlation between structural liming and reduced P leakage. The results show that the pH-enhancing effect of the structure liming changes the binding properties of the P in the soil. At an optimum pH-value between 6 and 7, P binds to calcium ions which increase both phosphorus solubility and availability for the plants. At lower and higher pH-values, phosphorus forms compounds with metal ions or carbonates, respectively, that have ions solubility and becomes inaccessible to vegetation. Structural liming also improves soil structure through slow and fast-paced processes that lead to biological, chemical and physical changes. In summary, this creates a land structure with higher infiltration capacity, reinforced aggregate structure, reduced tendency for surface run-off and internal erosion. Structural changes from liming is also favorable for crop growth and crop yield. For structural liming it is important what kind of lime is used, where lime with its origin from industries as byproducts is less effective than other forms of lime, such as slaked lime. From experimental studies, long terms of reduced P leakage appear from structural liming. Further research is needed on different lime products effect on stabilizing the structure for long-term effects. Some studies have indicated that lime filter drainage, used as a measure to reduce P losses, may increase nitrogen (N) leaching. Whether or not structural liming affects the risk for N leaching should be clarified, to better understand the potential of structural liming for reducing agricultural impact on the aquatic environment and achieving the environmental goal "No Eutrophication." However, it is clear from the literature, that by structural liming, phosphorus can be retained in the soil to a higher extent, which increases the potential for plants to utilize phosphorus as nutrition. With a future change in precipitation pattern, it is likely that the interest in structural liming will increase as leaching of P then is expected to increase.

# Innehållsförteckning

<b>1</b>	<b>Inledning</b>	<b>7</b>
1.1	Fosfors betydelse	7
1.2	Övergödning av vattendrag	7
1.3	Utlakning av fosfor	8
1.4	Miljömål	10
1.5	Vad kan vi göra för att minska problemet?	11
1.6	Syfte	11
1.7	Metod	11
<b>2</b>	<b>Resultat</b>	<b>13</b>
2.1	Strukturkalkningens inverkan på bördighet	13
2.2	Kalk ger upphov till strukturförändringar	15
2.3	Det är skillnad på kalk och kalk	17
2.4	Strukturkalkningens effekt på eutrofiering	18
2.5	Finskt kalkförsök	21
2.6	Kalkfilterdike	21
<b>3</b>	<b>Diskussion</b>	<b>23</b>
<b>4</b>	<b>Slutsats</b>	<b>26</b>
	<b>Referenser</b>	<b>27</b>







Figur 1. Symbol för miljömålet "Ingen övergödning" (Miljömålsrådets hemsida, 2009)

# 1 Inledning

## 1.1 Fosfors betydelse

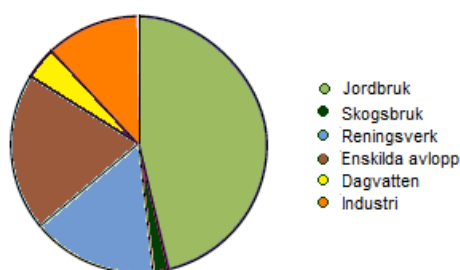
Fosfor är ett grundämne som är essentiellt för allt liv, då det ingår i en rad betydelsefulla beståndsdelar, exempelvis arvsmassans DNA, enzymer som styr viktiga biologiska processer och som energikälla till organismer (Snaprud, 2010). På grund av dess många positiva egenskaper är det ett viktigt näringsämne för både växter och djur. Växter absorberar fosfor via rotsystemet som i nästa led konsumeras av andra organismer. På så vis förs ämnet vidare i näringskedjan. Källan till fosfor har sitt ursprung i marken. Lantbrukare gödslar sin jordbruksmark med fosfor för att få en ökad kvantitet av och kvalitet på de livsmedel som konsumenterna sedan konsumerar. Dessvärre är fosfor en ändlig resurs, som till stor del utvinns från gruvor i Marocko och som förväntas ta slut inom de kommande decennierna med dagens förbrukningstakt (Snaprud, 2010). För att bedriva växtodling med hög odlingssäkerhet går det inte att förlita sig på tillräcklig näringstillförsel via markförråden. Genom att fosforgödsla säkerställer man näringstillförseln, men ökar samtidigt risken för fosforläckage vilket kan orsaka övergödning av sjöar och vattendrag. Det är därför av största betydelse att bedriva ett smart arbete kring användandet av fosfor, både vad gäller utnyttjande och risker för förluster via läckage för att minska lantbrukets bidrag till övergödningen.

## 1.2 Övergödning av vattendrag

Östersjön är idag en av de mest förorenade marina miljöer på jorden. Varje år förorenas Östersjön med ungefär 70 000 ton kväve och 30 000 ton fosfor från avrinningsområdena belägna kring de nio angränsande länderna (Blomqvist & Gunnars, 2007; Rolff et al., 2007; HELCOM, 2015). Av fosfortillförseln är majoriteten antropogen och här är den största enskilda källan jordbruket (se figur 2) (Blomqvist &

Gunnars, 2007; Rolff et al., 2007; HELCOM, 2015). Under de senaste decennierna har risken för näringsläckage från jordbruk ökat till följd av att mer näring tillförs marken i form av gödsel.

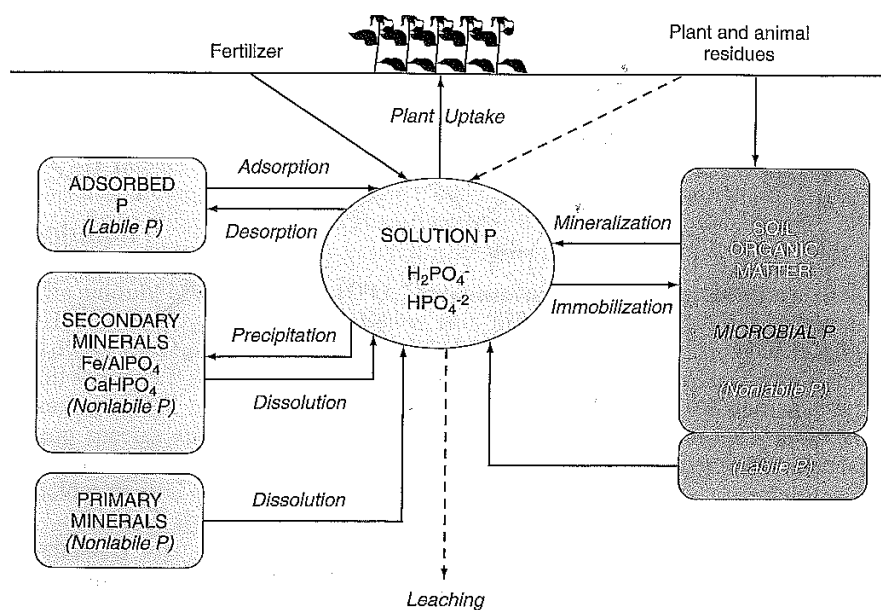
Övergödning av vattendrag orsakar ett överskott av främst kväve och fosfor i dess ekosystem. Detta ger upphov till fysikaliska, kemiska och biologiska förändringar i livsmiljön för olika organismer - vissa arter gynnas, exempelvis cyanobakterier (s.k. blågröna alger), medan andra minskar i kvantitet eller försvinner helt. Som en kedjereaktion påverkas den biologiska mångfalden negativt då syrefria havsbottnar uppstår när det ökande antalet organismer bryts ner i en syreförbrukande process (Blomqvist & Gunnars, 2007; Rolff et al., 2007; HELCOM, 2015; Bergström m.fl., 2008).



Figur 2. Antropogena fosforförluster i Sverige år 2000 enligt jordbruksverket, efter Bergström m.fl. (2008)

### 1.3 Utlakning av fosfor

Vid all växtodling sker ett naturligt läckage av näringsämnen. Innehållet i åkermarkens översta lager, matjorden, är i genomsnitt 2 000 kilo fosfor per hektar, medan mängden i det underliggande lagret, alven, är något mindre (Jordbruksverket, 2010). Den största mängden fosfor är bunden till partiklar som bildar organiska eller oorganiska föreningar (se figur 3). Även olika mineraler, exempelvis apatit, innehåller fosfor som frigörs efter vittring. Mindre än ett kilo fosfor per hektar finns i marklösningen som fosfatjoner ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  och  $\text{HPO}_4^{2-}$ ) och är växttillgänglig (Collin, 2010). Om marklösningen har en hög koncentration av växtnäring som inte passerar de jordlager som filtrerar den under dess förflyttning mot vattendrag är risken för övergödning stor. Den oorganiska formen av fosfor består av utfällningar med metalljoner, eller fosfor som genom adsorption sitter bundna på markpartiklar. Den organiska bundna fosfor i marken utgör mellan 25 - 65% av markens totala fosfor (Jordbruksverket, 2008). Fosfor är då bunden till organiskt material, exempelvis humussyror eller mikroorganismer.

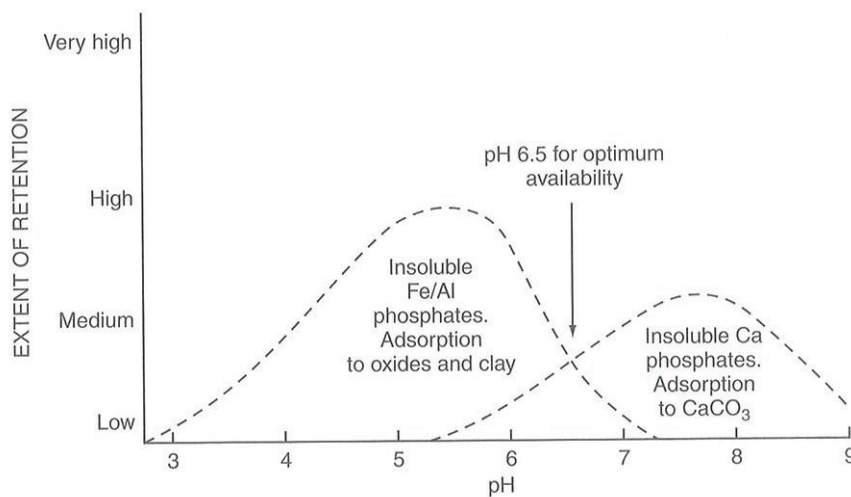


Figur 3. Fosforprocesser i marken. (Källa: Kirchman, 2017).

Utlakningsrisken för fosfor från jordbruksmark är särskilt stor i lerjordar med betydande makroporflöde, ytavrinning och erosionsförluster, i siltjordar med stora erosionsförluster och i sandjordar med dålig förmåga att binda fosfor (ProjectBorn, 2017). Eftersom jordar har olika egenskaper skiljer de sig också åt vad gäller lämpliga åtgärder för att minska fosforläckaget. Lerjordar är den dominerande jordarten i Sverige och även den jordart som benämns som särskilt utsatt för fosforläckage, mycket på grund av sina spricksystem och att de innehåller mer fosfor än övriga jordar. Lerjord är en komplex jordmån på grund av dess potential till att svälla och krympa. Förmågan och därmed utlakningsrisken är korrelerad till väderlek eftersom leran får ökad viskositet och blir kompakt vid regn och får torrare egenskaper vid varmt väderförhållande (ProjectBorn, 2017). Vid kompakta egenskaper minskar infiltrationsförmågan hos lerjorden, vilket ökar risken för ytavrinning och erosion då vattnet drar med sig markpartiklar och kolloider med bunden fosfor under sin förflyttning till vattendrag. Lutande fält ökar ytavrinningen av fosfor. Vid upptorkning bildas gångar och sprickor som utgör vattenvägar. Inre erosion kan uppstå vid sådan transport där vattnet eroderar bort löst och partikelbunden fosfor från håligheterna i rotzonen (ProjectBorn, 2017) eller från markytan och drar med sig fosfor genom spricksystem.

PH-värdet är en styrande faktor som reglerar fosfatjonernas bindningsalternativ och växttillgänglighet. Vid lägre pH-värde binder fosfatjoner till aluminium- och

järnjoner vilka bildar svårösliga föreningar. När pH-värdet stiger, mellan 5,5 - 8, minskar attraktionen till metalljonskomponenten och fosfor binder istället till kalcium vilket leder till att kalciumfosfat bildas. Kalciumfosfat har en högre löslighet och växttillgänglighet. När pH-värdet överskrider 8 bildar fosfor svårösliga föreningar, exempelvis oktafosfat, som minskar växttillgängligheten av fosfor (Eriksson m.fl., 2005). För att optimera växttillgängligheten av fosfor bör man kalka så att ett pH-värde mellan 6 - 7 uppnås (se figur 4) (Kirchman, 2017). På så sätt tas mer fosfor upp av växterna och mindre lakas ut. Kalkningseffekten har större påverkan ju högre lerhalt jorden har eftersom lermineraler kan binda mer kalcium, som i sig kan binda mer fosfor. Organiska gödselmedel kan även utgöra bindningskällor för fosfor som minskar utlakningen av partikelbunden fosfor (Collin, 2010).



Figur 4. Inverkan av pH på löslighet och växttillgänglighet av fosfor. (källa: Kirchman, 2017)

## 1.4 Miljömål

För att minska utsläppen av näringsämnen har regeringen satt upp ett miljömål: ”Ingen övergödning”. Detta innefattar fyra specificeringar (se nedan). Sammanfattningsvis belyser miljömålet en god miljöstatus i sjöar, vattendrag, grundvatten och kustvatten. Det framgår också att påverkan på havs- och landsmiljö ska minimeras genom att tillförsel av kväve- och fosforföreningar ska reduceras så att ekosystem inte uppvisar några kort- eller långsiktiga skador (Miljörådets hemsida, 2012).

*Preciseringar av miljökvalitetsmålet ingen övergödning, (Källa: Miljömålrådets hemsida, 2012):*

- **Påverkan på havet**  
Den svenska och den sammanlagda tillförseln av kväveföreningar och fosforföreningar till Sveriges omgivande hav underskrider den maximala belastning som fastställs inom ramen för internationella överenskommelser
- **Påverkan på landmiljön**  
Atmosfäriskt nedfall och brukande av mark inte leder till att ekosystemen uppvisar några väsentliga långsiktiga skadliga effekter av övergödande ämnen i någon del av Sverige.
- **Tillstånd i sjöar, vattendrag, kustvatten och grundvatten**  
Sjöar, vattendrag, kustvatten och grundvatten uppnår minst god status för näringsämnen enligt förordningen (2004:660) om förvaltning av kvaliteten på vattenmiljön
- **Tillstånd i havet**  
Havet har minst god miljöstatus med avseende på övergödning enligt havsmiljöförordningen (2010:134).

## 1.5 Vad kan vi göra för att minska problemet?

För att reducera övergödningen bör man fokusera på de största utsläppskällorna. För att uppnå de uppsatta miljömålen ställs höga krav på framförallt jordbruket. Åtgärderna handlar om att minska växtnäringsläckage från jordbruksmark och några av de åtgärder som rekommenderas är anläggning av våtmarker, diken, dränering och andra kväve- och fosforfällor. Vattenvårdsprojekt (LOVA) ger ut bidrag för olika projekt vars syfte handlar om att minska växtnäringsläckaget till Östersjön genom att öka växtnäringsupptaget i grödorna. Projekten kan exempelvis vara dagvattendammar eller strukturkalkning (Miljödepartementet, 2009).

## 1.6 Syfte

Syftet med denna litteraturstudie är att ta reda på vilken effekt strukturkalkning har på eutrofiering av sjöar och vattendrag genom att studera fosforutlakning från jordbruksmark med hjälp av att sammanställa vetenskapliga studier i ämnet.

## 1.7 Metod

Arbetet är en litteraturstudie och information har hämtats från artiklar, webbsidor samt publicerade vetenskapliga arbeten. Sökorden var ”strukturkalkning” och ”eutrofiering”, eller en kombination av dessa. Jag har även tittat på refererade artiklar i artiklarna. Det urval av artiklar och övrig vetenskaplig litteratur som inkluderats i

kandidatarbetet har motiverats med att det motsvarar min forskningsfråga, d.v.s. vilken effekt strukturförändringen har på eutrofieringen.

## 2 Resultat

### 2.1 Strukturkalkningens inverkan på bördighet

Många parametrar påverkar växternas trivsel i marken. För att garantera god tillväxt, hög skörd och samtidigt värna om miljön kan strukturkalkning vara ett alternativ. Genom att tillföra strukturkalk till sin åkermark förbättrar och stabiliserar man markens aggregatstruktur, vilket gynnar den vatten- och näringshållande förmågan (Börling et al., 2017). Fosfor, som har en avgörande inverkan på skördens storlek, blir mer lättillgänglig för växtlighet vid kalkning. En normalgiva på 5 ton kalk per hektar kan lösa upp 50 kilo fosfor i en mineraljord på 10 år (Nordkalk Aito, 2017). Till följd av detta kan gödslingsbehovet och gödslingskostnaden reduceras för lantbrukaren. Jorden blir tack vare ett ökat antal stabila aggregat även mer lättbearbetad, vilket kan sänka bränslekostnaden (Börling et al., 2017). Ytterligare en effekt av bättre markstruktur är en jämnare fördelning av vatten- och luftfyllda porer vilket förenklar gasutbytet av syre och koldioxid, då de lättare kan transporteras genom marken, vilket skapar en bättre miljö för växternas rotsystem (Nordkalk, 2017). Porfördelningen förbättrar även rötternas förutsättningar att penetrera jorden, vilket ökar kapaciteten att växa längre ned på djupet (Holst, 2017). Detta möjliggör ett ökat näringsupptag från jordlager belägna längre ned i alven. En bättre struktur möjliggör dessutom att åkrarna kan torka upp snabbare vilket gör att man kan komma ut tidigare med maskiner och redskap på våren (Blomquist & Berglund, 2015). Sammanfattningsvis skapar en bättre struktur ökade förutsättningar för god produktion, då viktiga funktioner för växten och dess rotsystem förbättras. Genom en mer produktiv växtplats kan optimal tillväxt och avkastning åstadkommas.

De odlingsrelaterade fördelar som strukturkalkning kan ge visades i en försöks-serie där man bland annat undersökte olika kalkprodukters inverkan på radtäckningen hos sockerbetor. Studien gjordes i Skåne under perioden 1998–2000 på tolv

olika gårdar (Berglund & Blomquist, 2002). Försöksplatsernas jordarter var av karaktärerna lättleror till styva leror. Skillnaden i lerhalter mellan försöksgårdarna kan i viss grad ha påverkat resultatet eftersom en mer lerrik jordart har en större partikelyta och kan reagera med mer kalcium från kalkprodukten. Varje försöksplats delades in i fyra block och varje block i fem olika led. Kalkmedlens sammansättning framgår av tabell 1. Kalkgivan till led 2 (släckt kalk), 3 (kalkstenmjöl) och 4 (Sockerbrukskalk) anpassades så att kalkgivan var omräknad till 2 ton kalciumoxid (CaO) per hektar. Försöksruta 1 var obehandlad utan kalk och ruta 5 (släckt kalk) fick totalt 6 ton CaO per hektar. Resultaten visade att led 5 (släckt kalk), som fått 6 ton CaO per hektar, hade signifikant högre radtäckning än det obehandlade ledet. Under andra mätillfället hade även led 2 (släckt kalk), 3 (kalkstenmjöl) och 5 (släckt kalk) signifikant högre radtäckning än led 1 (obehandlad) (Berglund & Blomquist, 2002).

Tabell 1. Radtäckning i sockerbetor i olika kalkbehandlingar. Medelvärden för 12 försöksplatser i Skåne, åren 1998–2000. (källa Berglund & Blomquist, 2002)

Behandling	Radtäckning, %	
	15 juni	27 juni
1. Obehandlat	32,6	67,4
2. Släckt kalk, 3 ton/ha	33,8	71,4
3. Kalkstenmjöl, 4 ton/ha	32,7	70,1
4. Sockerbrukskalk, 8 ton/ha	33,2	69,4
5. Släckt kalk, 9 ton/ha	34,6	71,2

I samma försök som man studerade radtäckning i Skåne undersöktes strukturkalkningens inverkan på skörden av sockerbetor (Berglund & Blomquist, 2002). Försöken var strukturerade på likartat sätt som vid undersökningen på radtäckningen (se tabell 2). Resultaten från fältförsöken visade att sockerskörden var högre i alla kalkade led än i det okalkade ledet. En signifikant högre sockerskörd påträffades bara i led 2 (släckt kalk 3 ton/ha) och 5 (släckt kalk, 9 ton/ha) där sockerskörden ökat med 4% respektive 9 % över de tre åren. Rotskörden ökade för alla led i jämförelse med det okalkade ledet. Signifikant högre rotskörd fick man i led 2 (släckt kalk, 3 ton/ha), 4 (sockerbrukskalk) och 5 (släckt kalk, 9 ton/ha). På likartat sätt hade alla de kalkade leden högre plantantal än det okalkade. Endast för led 5 (släckt kalk) som fått en hög giva släckt kalk visades ett signifikant högre plantantal med en ökning på 3000 plantor per hektar jämfört med obehandlat (Berglund & Blomquist, 2002).



Försöken visade hur lerhalten bestämmer vilken kalkgiva som är motiverad. Låga givor släckt kalk resulterade i att alla lerjordar ökade skördenivån med 4%. För hög giva släckt kalk svarade lerjordar med en lerhalt över 20% med 12% skördeökning jämfört med 6% skördeökning för lerjordar med under 20% ler.

Tabell 2. Sockerbetesskörden 1998-2000. Medelvärden från 12 försöksplatser. Intäkt i 2000 års nivå. (källa: Berglund & Blomquist, 2002)

Behandling	Betor 1000- tal/ha	Renvikt ton/ha	Sockethalt, %	Utvinnbarhet, %	Utvinnbart socker ton/ha	Renhet %	Intäkt kr
1. Obehandlat	87,6	53,7	17,97	90,65	8,76	81	24960
2. Släckt kalk, 3 ton/ha	88,3	56,1	17,93	90,59	9,09	81	25700
3. Kalkstenmjöl, 4 ton/ha	89,6	54,8	17,98	90,63	8,93	81,5	25270
4. Sockerbrukskalk, 8 ton/ha	87,7	55,7	17,85	90,48	9,00	82,4	25530
5. Släckt kalk, 9 ton/ha	90,8	58,5	17,92	90,58	9,51	83	27000

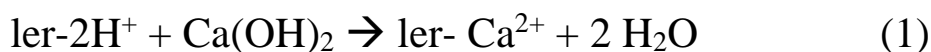
Sammanfattningsvis kan strukturkalkning skapa en stabilare grund för en högre skörd av sockerbetor. Den högre skörden kan göra det mer ekonomiskt motiverat för lantbrukare, som odlar sockerbetor, att strukturkalka sin åkerareal. Litteraturen kring strukturkalkningens effekt på skörd av olika grödor är dock än så länge begränsad. Det är därför viktigt att påståendet om att strukturkalkning kan öka skördenivåerna inte generaliseras.

## 2.2 Kalk ger upphov till strukturförändringar

Kalks generella effekt på markstrukturen kan delas in i kemiska, biologiska och fysikaliska förändringar. Efter applicering av kalk höjs pH-värdet och basmättnadsgraden ökar, vilket betyder att jorden kan binda större mängd basnärsämnen. Tillsatt kalk som innehåller tvåvärda joner, såsom kalcium och magnesium, får en utflockande effekt på kolloider vilket leder till starkare aggregatbildning mellan lerpartiklar (Berglund & Blomquist, 2002).

Eftersom kalkning höjer pH-värdet påverkas olika grupper av markorganismer på olika sätt. En mer neutral eller alkalisk miljö gynnar många bakterier och daggmaskar då dessa inte trivs i sur miljö (Berglund & Blomquist, 2002). Daggmaskar utgör en viktig komponent i markstrukturen då de kittar ihop jordpartiklar till aggregat med hjälp av sitt slem. De bryter sönder och bearbetar växtmaterial som omblandas med jord. Daggmaskgångar utgör dessutom viktiga håligheter där växtrötter kan tränga ner. Svampar missgynnas av högre pH-värde varför kalk kan minska sjukdomstrycket bland växter. Dock finns det andra sjukdomsalstrande svamparter som föredrar högre pH-värde (Berglund & Blomquist, 2002).

De fysikaliska processerna har både långsamma och mer snabbartade förlopp. Den snabba processen börjar när kalcium i kalken kommer i kontakt med markvätskan och en jonutbytes-process med katjoner uppstår på lermineralens yta (se reaktionsformel 1). Envärda joner som är bundna till lermineralerna karakteriseras av svaga bindningar med stark hydration (binder mycket vatten). Detta medför en ökad viskositet hos leran. Tvåvärda joner, som kalcium, har stark elektrisk bindning och binder en lägre volym vatten än envärda joner (Berglund, 1971). Jonbytet mellan kalciumjoner och envärda joner vid kalkning leder till en orientering mellan lerpartiklarna i förhållande till varandra vilket resulterar i ökad aggregatbindning och en minskad tendens för svällning, krympning och sprickbildning (Kindvall, 1999; Berglund & Blomquist, 2002). Detta gör att vatten i större utsträckning infiltrerar genom leran, istället för i gångar och sprickor. Att vattnet infiltrerar över en större yta minskar risken för ytavrinning och skapar bättre filtrering av löst bunden fosfor som följer med vattnet. Detta betyder att fria fosfatjoner som lösts i nederbördsvattnet som rör sig nedåt i markprofilen lättare kan hitta bindningsmöjligheter på sin vandringssväg genom profilen. Detta minskar risken för fosforläckage. Leran får också förändrade egenskaper i form av att en ökad volym och minskad såpighet, vilket minskar risken för inre erosion av löst och partikelbunden fosfor (Berglund & Blomquist, 2002; Kindvall, 1999). Lerjordar med hög katjonutbyteskapacitet (CEC) möjliggör mer jonutbyte på lermineralerna. Förmågan att få en förbättrad struktur genom kalkning är därmed högre på jordar med hög jonutbyteskapacitet, vilket lerjordar och jordar med mycket organiskt material har. Detta bekräftas av studier från bland annat Berglund (1971) och Baldock et al. (1994).



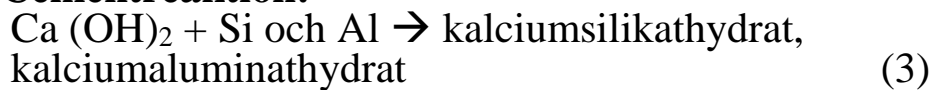
De långsammare fysikaliska processerna som stärker och stabiliserar aggregatstrukturen utgörs av cementreaktioner och murbrukbildning (Berglund, 1971). Båda dessa reaktioner gynnas av högt pH-värde och rik tillgång på kalciumjoner och leder

till stabilare och starkare aggregatstruktur i marken (Berglund, 1971). För puzzolanreaktion, som cementreaktionen också kallas, är tillgången på silikater och aluminater en nödvändighet för att kalken ska kunna bilda kalciumsilikathydrater eller kalciumaluminathydrater i en långsam, men strukturförbättrande reaktion (se reaktionsformel 3). Murbruksbildning uppstår när koldioxid från luften reagerar med tillförd kalk och bildar kalciumkarbonat (se reaktionsformel 2). Fortsatta bindningar mellan de bildade kalciumkarbonaterna leder till stabilare och starkare markstruktur (Berglund, 2018; Berglund & Blomquist, 2002).

### **Murbruksbildning:**



### **Cementreaktion:**



## 2.3 Det är skillnad på kalk och kalk

Kalk kommer ursprungligen från avlagringar av organismer som bildat sediment i vatten. De har sedan förhårdnat under en väldigt lång tid och bildat kalk. Kalk är alltså skelett och annan kalciumrik vävnad från akvatiska organismer. Den kalk vi idag sprider på åkrarna har oftast sitt ursprung från ett kalkbrott. Men de finns även kalk från andra källor, exempelvis som biprodukt från Sveriges sockerbolag. Kalken som utvinns från kalkbrotten behandlas olika beroende på ändamål. Man kan dela in kalk i tre huvudgrupper, krossad kalk, bränd kalk och släckt kalk. Krossad kalk består av kalciumkarbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) som förekommer i olika former beroende på konsumentens önskan. I tabell 3 framgår krossad kalk som sockerbrukskalk samt kalkstenmjöl. Bränd kalk är kalk som upphettats under mycket höga temperaturer och som då går från kalciumkarbonat till kalciumoxid. Denna typ av kalk kan till utseendet liknas vid småsten. Efter att man bearbetat ned bränd kalk i marken kommer kalciumoxid reagera med vatten och bilda släckt kalk. Det går också att direkt applicera släckt kalk till sin mark. Denna kalk har då redan reagerat med vatten och bildat kalciumhydroxid ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) som förekommer i fint pulver och har snabb effekt. Effekten av tillförd bränd kalk är därför långsammare än den av släckt kalk eftersom släckt kalk redan reagerat med vatten i en process ovanför jord (Project-Born, 2017).

Släckt och bränd kalk tillhör gruppen fri kalk dit kalciumoxid (CaO) och kalciumhydroxid (Ca(OH)<sub>2</sub>) räknas (tabell 3). Kalciumkarbonat som finns i exempelvis sockerbrukskalk tillhör den andra gruppen kolsyrabunden kalk. Fri kalk, som har högre kalciumkoncentration och större effekt på pH-värdet på grund av sin hydroxidjon, har snabbare och större effekt även på strukturbildande processer i marken (Berglund, 1971). Det beror på att murbruk- och cementreaktioner går snabbare i en kalciumrik och en mer alkalisk miljö. Fältförsök med kalkstenmjöl, som tillhör kolsyrabunden kalk, indikerar att vid användning av kalkstenmjöl kan en struktureffekt helt utebliva (Berglund, 1971). Vissa studier talar om att kalkstenmjöl visst har effekt, men i ett mer långsiktigt perspektiv efter upprepade vätnings-upptorkningscykler (Shanmuganathan & Oades, 1983). Att effekten av kalkstenmjöl inte är lika signifikant som från släckt eller bränd kalk beror på frånvaron av fri kalk.

Tabell 3. Olika kalkningsmedels kemiska sammansättning, deras syraneutraliserande förmåga uttryckt som motsvarande kg CaO per 100 kg kalkningsmedel (%) samt andel fri kalk (CaO och Ca(OH)<sub>2</sub>) (Källa: Ericsson et al., 1975).

Kalkmedel	Kemisk beteckning	Motsvarande % CaO	% fri kalk
Kalkstenmjöl	CaCO <sub>3</sub>	42-52	0
Bränd kalk	CaO	70-90	70-90
Släckt kalk	Ca(OH) <sub>2</sub>	55-70	55-70
Socketbetskalk	CaCO <sub>3</sub>	20-25	-

## 2.4 Strukturkalkningens effekt på eutrofiering

Två fältförsök har utförts i Stockholmsområdet där man undersökt strukturkalkningens effekt på fosforutlakningen från två olika jordar under en sexårsperiod. Det ena försöket var beläget vid Bornsjön och utfördes på styvare jordart (57 - 61% ler). Det andra fältförsöket var lokaliserat kring Wiad och på en lättare lera (22 - 29% ler). Båda platserna strukturkalkades och hade kontrollrutor som lämnades obehandlade för att jämföra resultatet med. På Bornsjön tillsattes bränd kalk (CaO) medan det på Wiad tillsattes kommersiell kalk som innehöll släckt kalk (Ca(OH)<sub>2</sub>). Totala mängden tillsatt kalk omräknad till mängden CaO var 5 ton per hektar på Bornsjön och 2 ton per hektar på Wiad. Appliceringen av kalk gjordes för båda platserna under torra och gynnsamma förhållanden där kalken direkt bearbetades ner med en kultivator. Av analyserat dräneringsvatten framgår (tabell 4) att den totala fosforförlusten (TP) från de strukturkalkade jordarna på Bornsjön och Wiad var signifikant lägre än från de icke kalkade. Fältförsöket vid Bornsjön uppvisade en signifikant minskning av förlusterna av partikelbunden fosfor (PP) efter kalkning medan försöket vid Wiad

istället uppvisade en kraftig minskning av löst reaktiv fosfor (DRP) i dräneringsvattnet. Resultaten visade för alla parametrar (TP, PP och DRP) att strukturkalkning minskar fosforutlakningen (Ulén & Etana, 2014).

Tabell 4. Utlakning av totalfosfor (TP), partikelbunden fosfor (PP) och löst fosfor (DRP) i fältförsök vid Bornsjön och Wiad i kalkade respektive icke-kalkade led (Källa: Ulén & Etana, 2014).

Plats:	Bornsjön	Bornsjön	Wiad	Wiad
Period	2007/2013	2007/2013	2011/2013	2011/2013
Behandling:	CaO	Kontroll	Ca(OH) <sub>2</sub>	Kontroll
TP (kg/ha/år)	0,59	0,97	0,13	0,30
PP (kg/ha/år)	0,46	0,82	0,07	0,14
DRP (kg/ha/år)	0,13	0,15	0,08	0,15

I ett annat svenskt fältförsök studerades läckaget av kväve och fosfor från mark efter olika odlingsåtgärder, däribland kalktillförsel (Svanbäck, 2014). Effekten av olika bearbetningsdjup undersöktes, liksom om olika gödslingsmetoder med fosfor hade någon betydelse för näringsläckaget. Kalk applicerades till specifika rutor för att undersöka dess effekt. Det sexåriga fältförsöket startades 2007 och bestod av 28 fältrutor i östra Sverige. Jorden hade hög lerhalt (60%) och dominerades av lermneralet illit. I försöken framkom en årlig skillnad på 0,36 kg ha<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup> (44%) partikelbunden fosfor mellan kalkbehandlade led (C) och de okalkade, konventionellt plöjda ledet utan fosforgödsling (B). Vidare hade kalkbehandlade led 0,48 kg ha<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup> (51%) lägre fosforförluster än okalkat led med en grund bearbetning i kombination med spridning av fosforgödsel (E). Vid en jämförelse mellan kalkbehandlade rutor och medelvärden av de övriga (A, B, D, E) syntes en signifikant minskning i fosforutlakning i de kalkbehandlade. Strukturkalkning motsvarade i detta försök en reducering av utlakad fosfor med 37% för TP och 42% för PP.

Fältrutor som var grunt bearbetade hade större utlakning av PP än de konventionellt plöjda rutorna. Detta förklaras enligt Svanbäck (2014) genom en större, mer omfattad ackumulering av fosfor i de översta jordlagren, vilka är utsatta för erosion. En kanadensisk studie påvisade dock att om en jord var djupbearbetad eller inte, snarare påverkade utlakningen av DRP (Gaynor & Findlay, 1995) än av PP. I de svenska försöken förklarar Svanbäck (2014) att de grundligt bearbetade rutorna hade större utlakning av PP på grund av en ojämn ackumulering av växtrester i matjorden som orsakar en ojämn infiltrering av vatten som fosfortransport. Detta resonemang måste studeras vidare för att kunna bekräftas. Vidare visade Svanbäck (2014) att strukturkalkning minskade utlakningen, men den bekräftade inte om detta berodde på strukturförbättringar i marken som lett till bättre rumslig infiltration. Det är dock troligt att skillnaden i utlakning mellan rutorna som fått olika behandling

berodde på olika beskaffade förutsättningar som lett till olika flödesvägar för fosfor (Svanbäck, 2014).

Tabell 5. Utlakning ( $\text{kg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ ) av totalfosfor(TP), partikelbunden fosfor(PP) och löst reaktiv fosfor (DRP) för fyra olika behandlingar. Mätvärdena anger medelvärden för årlig transport från olika försöksrutor över 6 år med en  $\pm$  standardavvikelse. (Källa: Svanbäck, 2014).

Behandling	TP	PP	DRP
A – Konv. Plöjning	$0,79 \pm 0,53$	$0,68 \pm 0,49$	$0,13 \pm 0,09$
B – Konv. Plöjning – ingen P	$0,97 \pm 0,66$	$0,82 \pm 0,55$	$0,15 \pm 0,11$
C – Konv. Plöjning med strukturkalk	$0,59 \pm 0,33$	$0,46 \pm 0,29$	$0,13 \pm 0,06$
D – Grund bearbetning	$0,96 \pm 0,56$	$0,85 \pm 0,51$	$0,11 \pm 0,07$
E – Grund bearbetning + spridning P	$1,13 \pm 0,51$	$0,94 \pm 0,38$	$0,20 \pm 0,16$

Ytterligare svenska försök anlades 2014 i Uppsalaområdet, två vid Ultuna och ett vid Linnés Hammarby (Berglund et al., 2017). Innan anläggning analyserades marken med hjälp av jordprovtagning och det fastställdes att alla försöksjordarna kunde klassificeras som styva lerjordar. I försöken inkluderas fyra olika försöksled där ett led var obehandlad medan övriga testades med tre olika kalkmedel. Samtliga led hade 4 upprepningar. Kalkprodukterna bestod av släckt kalk som innehöll 92 %  $\text{Ca(OH)}_2$ , NKAS (Nordkalk aktiv struktur) och ekokalk. NKAS är ett konventionellt använt strukturkalkningsmedel som består av släckt kalk ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) och kalciumkarbonat( $\text{CaCO}_3$ ). Ekokalk, som är ett industriellt framtaget kalkmedel från järntillverkning, består till största delen av bränd kalk( $\text{CaO}$ ), kol, kiseloxid och en mindre mängd järn- och aluminiumoxid. Kalkgivan i försöken har anpassats till 3 ton CaO per hektar så att tillförseln av kalcium (Ca) skulle vara densamma oberoende av kalkprodukt och dess löslighet. Omräknat innebar detta en tillförsel av 4,2 ton släckt kalk, 8,3 ton/ha Ekokalk respektive 6 ton/ha NKAS torr. Kalkprodukterna spreds 1 oktober 2014 och bearbetades in omedelbart med en Swiss kultivator. Försöken skördades 2015 och 2016. Under försöksperioden mättes parametrar såsom skördenivå, strukturstabilitet, plantantal samt fosforutlakning.

Lysimeterstudien visade en signifikant minskning av fosforinnehållet i dräneringsvattnet för alla kalkbehandlade led. Särskilt signifikanta resultat framkom för NKAS som visade lägst fosforvärde. Det största bidraget till minskad utlakning av totalfosfor stod partikelbunden fosforutlakning för (Berglund et al., 2017).

Tabell 6. Medelvärden för fosforutlakning ( $\mu\text{g/l}$ ) i olika former från strukturkalkningsförsöken på Ultuna 3, Ultuna 9 och Linnés Hammarby 4. Totalfosfor (TP), partikulär fosfor (PP) och löst fosfor (DRP) i utlakningsvattnet. Behandlingseffekterna är signifikanta för TP och PP. (Källa: Berglund et al., 2017).

Försöksled	TP	PP	DRP
Obehandlad	1003	678	285
Släckt kalk	665*	367**	258
NKAS	639**	335**	249
Ekokalk	709*	401*	266

\*( $p < 0.05$ ), \*\*( $p < 0.01$ ), \*\*\*( $p < 0.001$ ) Signifikansnivå i jämförelse med obehandlat led (95%-nivån).

## 2.5 Finskt kalkförsök

I ett försök av liknande karaktär, i Finland, studerades utlakningen av fosfor från kalkade respektive icke kalkade jordar som dessutom behandlades med olika jordbearbetning (Muukkonen m.fl., 2009). Hälften av försöksrutorna var nyligen kalkade med 7 ton kalciumoxid (CaO) per hektar. De kalkade jordarna hade en hög lerhalt, 62%, och de icke kalkade jordarna en lerhalt på 46%. Man fann att de kalkade jordarna hade signifikant lägre förluster av löst reaktiv fosfor (DRP) inom ett 90 % konfidensintervall. Det framgick också att de icke kalkade och obearbetade jordarna hade en tydlig ansamling av DRP i de övre jordlagren medan DRP var jämnare spritt i hela jordprofilen för de kalkade obearbetade jordarna. Detta beror på tidigare resonemang om att kalk ökar pH-värdet, löslighet och växtupptag för fosfor. Okalkade led får lägre pH-värde och högre fosforadsorption, därav högre ansamling av DRP i övre jordlager.

## 2.6 Kalkfilterdike

Metoden att använda kalkfilterdiken är framtagen i samband med täckdikning där det ges möjlighet till att minska bortflödet av erosionsmaterial från sluttande lerjordar (ProjectBorn, 2017). Tillvägagångssättet bygger på att man i samband med täckdikning blandar in kalk i återfyllnadsjorden. Detta ska skapa en filterlikande konstruktion som binder upp fosfor när vatten perkolerar från ytan ner till dräneringsröret. Jorden får också en bättre genomsläpplighet vilket minskar ytavrinningen (ProjectBorn, 2017). Bättre aggregering gör att vatten infiltrerar genom leran, istället för i gångar och sprickor, vilket minskar risken för inre erosion och skapar bättre

förutsättningar för löst bunden fosfor som finns i perkolerande vatten att hitta bindingsmöjligheter.

Försöksverksamhet i Västmanland visade att detta fungerade när de undersökte effekten av kalkfilterdiken på en försöksplats som hade 3,5 % sluttning mot ett vattendrag (Lindström & Ulén, 2003). Försöksplatsen bestod av en kontrollruta som täckdikats och som jämfördes med en annan ruta som täckdikats med inblandning av osläckt kalk i återfyllnaden. Båda rutorna hade öppna diken i närområdet för uppsamling av avrunnet ytvatten. Ytvatten och eroderat material från rutorna samlades upp i sedimentbrunnar. Vattnet transporterades sedan till en mätbrunn där ett triangulärt överfall mätte flödet som sedan registrerades av en datalogger. Prover samlades in varannan vecka där ytvatten och dräneringsvatten analyserades på partikulär fosfor, fosfatfosfor, övrig löst fosfor, totalfosfor, suspenderat material och kväve. Resultaten visade att mängden PO<sub>4</sub>-P, PP och TP minskade signifikant i de rutor där man blandat in kalk i återfyllnaden. Omräknat till lika stor avrinning för båda rutorna, minskade totala fosforläckaget (TP) med 0,24 kilo fosfor per hektar med kalkfilterdiken. För hela provrutan (1,66 hektar) motsvarar detta 0,4 kilo fosfor. Detta innebär en anrikning av P-AL talet med 0,4 kilo fosfor och en anrikning med 2 milligram fosfor per 100 gram jord för den kalkade ytan jämfört med den icke kalkade ytan. Till följd av en jämnare infiltration ökade dock förlusten av nitratkväve. Detta beror på att nitratutlakningen blir större när vatten infiltrerar jämt i marken och mindre om det går i sprickor.

Tabell 7. Avrinning (mm) och transport (kg/ha) av fosfor från kalkade respektive okalkade täckdiketsåterfyllnader under perioden 2000–2003. (Källa: Lindström & Ulén, 2003).

	Ytvatten kalkad	Dränerings- vatten kalkad	Ytvatten okalkad	Dränerings- vatten okalkad	Summa kalkad	Summa okalkad
Avrinning	32	397	165	237	429	402
TP	0,079	0,948	0,569	0,653	1,027	1,222
PP	0,066	0,731	0,467	0,510	0,797	0,977
PO <sub>4</sub> -P	0,003	0,048	0,043	0,050	0,051	0,093



### 3 Diskussion

Svensk forskning, som länge varit begränsad inom området, ger nu tydliga indikationer på att strukturskalkning är en metod för att minska det svenska jordbrukets bidrag av fosfor till vattendrag och därmed ta oss ett steg närmare att nå miljömålet ”Ingen övergödning”. Av analyserat material framgår att strukturskalkning, kan minska fosforförlusterna från åkermark, både de som sker via ytavrinning och de som sker via inre erosion. Försöksperioder på upp till sex år visar att strukturskalkning är en miljöåtgärd som kan minska utlakning av partikelbunden fosfor under lång tid (Svanbäck, 2014). Samma slutsats motiverades i ett annat likartat försök (Svanbäck et al, 2014)

Minskade fosforförluster efter strukturskalkning beror främst på en bättre markstruktur som skapar ett mer gynnsamt vattenflöde genom hela markprofilen. Betydelsen av strukturförbättringen har en avgörande roll då den minskar förlusten av partikelbunden fosfor vilket har visat sig utgöra majoriteten av fosforförlusterna. Det är sedan länge känt att industriella kalkmedel, jämfört med fri kalk, har sämre effekt på strukturbildande processer och därmed på förlusterna av partikelbunden fosfor. Detta bekräftades i ett försök av Berglund et al. (2017) där utlakningen blev mindre från försöksled som behandlats med fri kalk innehållande kalciumhydroxid,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Eftersom kalciumhydroxid( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) har en strukturstabiliserande effekt som sträcker sig över lång tid behövs det forskning under längre tidsperioder som kan visa hur den långsiktiga skillnaden mellan industriell och fri kalk ser ut. Motiven för strukturskalkning som miljöåtgärd beror på hur långt in i framtiden effekten sträcker sig.

En medverkande faktor till ett reducerat fosforläckage efter strukturskalkning är kalkens inverkan på pH. Kalkapplicering förändrar fosfors löslighet i marken genom att förändra pH i marken. I regel ökar lösligheten med stigande pH upp till 8. Beroende på vilket ursprungligt pH jorden har innan kalkning, finns det stora möjligheter att öka växttillgänglighet av fosfor. Detta gäller de scenarion då tillförsel av kalk inte orsakar pH-ökningar över 8. Reducerade förluster av fosfor kan med

andra ord bero på ett högre av upptag av fosfor från markvätskan (Eriksson m.fl., 2005).

Tidigare kunskap inom strukturkalkning har delvis baserats på utländska studier vilket skapat frågetecken då variationer i b.l.a. klimat och jordart inverkar på forskningsresultaten. En svensk studie med sockerbetor visar att strukturkalkning även kan ge en skördeökning. Detta kan göra det ekonomiskt motiverat för lantbrukaren att införa odlingsåtgärden. Lantbrukare kan idag söka LOVA-stöd för strukturkalkning. Intresset för stödet har dock varit svagt och det finns resurser kvar i den budget som läggs ut för stöd (Hoffman, 2017). För svenska lantbrukare kan strukturkalkning bli en vinst ur såväl ett ekonomiskt som ett miljöperspektiv. På sikt kan högre skördar betala av den kostnad som stöden eventuellt inte täcker. Genom stöden kan lantbrukarna på frivillig basis bidra till minskad förorening av miljön och ett mer balanserat kretslopp. Om miljömålet, ”Ingen övergödning”, däremot inte uppnås kan åtgärder för att minska jordbrukets påverkan i framtiden bli lagstadgade. Strategier för att uppmärksamma och öka intresset för strukturkalkning kan därför vara ett sätt att bidra till minskad eutrofiering.

I fältförsök har det visat sig att olika former av kalk inverkar olika. Kalkmedel som innehöll fritt kalk hade större effekt på skördenivå och tillväxt hos sockerbetor än industriella kalkmedel som saknade fri kalk (Berglund & Blomquist, 2002). Det framgick också att lerhalten har betydelse för kalkprodukternas resultat. Ju högre lerhalt, desto fler lerpartiklar kan kalken reagera med och desto högre giva är motiverad. Högre kalkgivor på lerrika jordar förväntas öka den strukturbildande effekten och därmed resultera i ett lägre fosforläckage.

Trots de många fördelarna med strukturkalkning kvarstår vissa frågetecken. Ett är att hur kalkningen på längre sikt påverkar växtnäringstillgången i marken. Höjt pH kan påskynda mineraliseringen, vilket leder till att mer näring frigörs från de organiska förråden i marken (Rolfsson, 2006; Baldock et al., 1994). Växtnäringen frigörs till markvätskan och blir tillgänglig för grödan vilket kan vara en förklaring till den högre skörd som strukturkalkningen resulterade i vad gäller sockerbetor. Ett gammalt talesätt lyder: ”Kalkning ger rika föräldrar, men fattiga barn”. Begreppet syftar på att de högre skördarna utarmar näringsförråden i marken. Kalkning fungerar kortsiktigt, men långsiktigt ger låga skördar då näringsförråden töms. Eftersom höga skördar och en hög odlings säkerhet, både kort- och långsiktigt, prioriteras i svenskt jordbruk bör därför gödsling anpassas vid kalkning för att säkerställa att ”Kalkning ger rika föräldrar och barn” (Magnusson, 2000).

Strukturkalkning är en odlingsåtgärd som också kan uppmärksammas i samband med struktursvaga jordar som uppstår i samband med användningen av vägsalt. Vägsalt orsakar en natriumanrikning på lermineraller på bekostnad av andra katjoner. Konsekvenserna blir instabil och minskad aggregatstruktur. Detta fungerar som

en inkörningsport för andra problem – växtnäringsbrist, utlakningsrisker och översvämmade fält (Etana & Rydberg, 2017). Genom strukturkalkning skulle åkermark utmed vintersaltade vägar kunna försäkras. Det behövs dock forskning kring detta för att ta reda på om kalkningen har en tillräckligt stor och ihållande förebyggande effekt eller om den årliga tillförseln av natriumjoner påverkar strukturen i en sådan omfattning att kalkningen inte är försvarbar.

Med kontinuerliga utsläpp av växthusgaser som orsakar en förstärkt växthuseffekt förväntas ett förändrat klimat i framtiden. Ett nederbördsmonster med intensivare regn och ökade regnmängder kan komma att innebära större risker för bortförrel av bunden och löst fosfor genom ytavrinning och inre erosion (SMHI, 2015). Framtiden kan med andra ord ställa högre krav på åtgärder mot fosforförluster. Just strukturkalkning kan spela en stor roll då den kan motverka ytavrinning genom att kalkad jord kan ta emot större regn på grund av ökad infiltrationsförmåga. Större intresse och behov av strukturkalkning förväntas därmed i framtiden och är nödvändigt för att motverka en förväntad större risk för övergödning. Eftersom försöksverksamhet med kalkfilterdiken orsakade ökade nitratkväveförluster bör strukturkalkningens effekt på kväveförluster även klargöras (Lindström & Ulén, 2003). Om reducerat fosforläckage kompenseras med ökat kväveläckage kan strukturkalkningens effekt på eutrofiering ifrågasättas.

## 4 Slutsats

- Strukturkalkning är en miljöåtgärd som kan minska fosforläckaget från jordbruksmark
- Strukturkalkning kan öka fosforlösligheten och mängden växttillgänglig fosfor
- Strukturkalkning har visat sig kunna leda till ökade skördar.
- Bättre markstruktur och därav minskade förluster av partikelbunden och löst reaktiv fosfor kan förväntas efter strukturkalkning.
- Kalkmedel som innehåller fri kalk har större strukturförbättrande effekt än kalkmedel med avsaknad av fri kalk
- Det behövs fler långliggande försök för att avgöra skillnaden i olika kalkprodukters inverkan på strukturstabilitet och fosforutlakning
- Förrådsnäringen i kalkad jordbruksmark kan utarmas efter kalkning och bör därför kompenseras med gödsling för långsiktiga höga skördar
- Mer forskning kring hur strukturkalkning påverkar kväveläckaget behövs för att ytterligare klargöra i vilken utsträckning strukturkalkning kan minska jordbrukets bidrag av växtnäring till vattendrag och därmed hjälpa oss att uppnå miljömålet ”Ingen övergödning”
- Med ett förändrat nederbördsmonster i framtiden kan behovet av och intresset för strukturkalkning stiga då fosforförlusterna förväntas öka

## Referenser

- Baldock, J. A., Aoyama, M., Oades, J. M., Susanto & Grant, C.D. 1994. Structural Amelioration of a South Australian Red-brown Earth using Calcium and Organic Amendments. *Aust. J. Soil Res.*, 32; 571-594.
- Berglund, G. 1971. *Kalkens inverkan på jordens struktur*. Grundförbättring 1971:2. 81-84. Sveriges lantbruksuniversitet.
- Berglund, K. & Blomquist, J. 2002. 4.2.1. Effekter av strukturkalkning på skörd och markstruktur I: 4T Tillväxt Till Tio Ton (4T The Ten Ton Target). Slutrapport. Kap 4.2.1, 1415.  
[http://4t.sockerbetor.nu/4T/Kap4\\_02\\_01.pdf](http://4t.sockerbetor.nu/4T/Kap4_02_01.pdf)
- Berglund, K., Etana, A. & Simonson, M. 2017. EKOKALK: Strukturkalkning för förbättrad markstruktur och minskade fosforförluster i ekologisk odling? Sveriges Lantbruksuniversitet, institutionen för mark och miljö.  
<https://fou.jordbruksverket.se/fou/sok/detalj/3739/redovisning/7687>
- Bergström, L., Linder, J. & Andersson, R. 2008. Fosforförluster från jordbruksmark – vad kan vi göra för att minska problemet. *Jordbruksinformation 27*. Jönköping. Jordbruksverket i samarbete med SLU. JO08:27. ISSN 1102-8025.
- Blomquist, J & Berglund, K. 2015. Strukturkalkning – bra för både mark och miljö. *Greppa näringen*. Praktiska råd, nr 23 2015. <http://www.greppa.nu/download/18.6b6712dc151ab7054519c133/1450374226635/Praktiska+R%C3%A5d+Nr+23+Strukturkalkning.pdf>
- Blomqvist, S. & Gunnars, A. 2007. Mycket fosfor i Östersjön ger blomning av cyanobakterier. Umeå marina forskningscentrum.
- Börling, K. & Kvarnmo, P., Listh, U., Malgeryd, J. & Stenberg, M. 2017. Rekommendationer för gödsling och kalkning 2018. *Jordbruksinformation 4*, 2017. Jordbruksverket. Tillgänglig 2017-12-30 [http://www2.jordbruksverket.se/download/18.5593fa9915fcd5f0f5491234/1511444151428/jo17\\_4.pdf.html](http://www2.jordbruksverket.se/download/18.5593fa9915fcd5f0f5491234/1511444151428/jo17_4.pdf.html)
- Collin, Johanna. 2010. Strukturkalkningens möjlighet att hindra fosforutlakning: En litteraturstudie). Examensarbete 2010:06. Institutionen för mark och miljö, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala.
- Ericsson, J., Berglund, G. & Persson, J. 1975. Kalktillstånd, kalk och kalkning. Lantbrukshögskolan, Uppsala. Rapporter från Avdelningen för växtnärlära, 90.
- Eriksson J. m.fl. 2005. *Wiklanders Marklära*. s.31, 230-231. Lund: Studentlitteratur. ISBN 978-91-44-02482-

- Etana, A., & Rydberg, T. 2017. Inverkan av vägsalt (NaCl) på jordens aggregatstabilitet och risker för fosforförluster från åkermark. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för markvetenskap. <http://www.lvvf.se/dokument/vagsalt-%20Tomas%20Rydberg.pdf>
- Gaynor, J.D. & Findlay, W.I. 1995. Soil and phosphorus loss from conservation and conventional tillage in corn production. *Journal of Environmental Quality* 24(4), 734-741
- HELCOM. 2015. Updated Fifth Baltic Sea pollution load compilation (PLC-5.5). *Baltic Sea Environment Proceedings* No. 145.
- Holst, M. 2017. En jordbruksåtgärd som gynnar miljö och skörd. Tillgänglig 2017-12-29. <http://balticsea2020.org/images/Bilagor/Strukturkalkning.pdf>
- Jordbruksverket. 2008. Fosforförluster från jordbruksmark – vad kan vi göra för att minska problemet?
- Jordbruksverket. 2013. Åtgärder mot växtnäringsförluster i jordbruksmark – möjligheter och hinder i praktiken. Delrapport 1 från Greppa fosfor, 2006 - 2009. Rapport 2010:35, Jordbruksverket. [http://www.greppa.nu/download/18.37e9ac46144f41921cd2ea80/1410187008452/Åtgärder\\_mot\\_fosforförluster.pdf](http://www.greppa.nu/download/18.37e9ac46144f41921cd2ea80/1410187008452/Åtgärder_mot_fosforförluster.pdf)  
[https://www2.jordbruksverket.se/webdav/files/SJV/trycksaker/Pdf\\_jo/jo08\\_27.pdf](https://www2.jordbruksverket.se/webdav/files/SJV/trycksaker/Pdf_jo/jo08_27.pdf)
- Kindvall, T. 1999. Strukturkalkning på lerjordar - effekter på markstruktur och sockerbetsskörd. Examensarbete. Avdelningsmeddelande 99:1. Avdelningen för lantbrukets hydroteknik, Institutionen för markvetenskap, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala.
- Lindström, J. & Ulén, B. 2003. Effekt av kalk i täckdikensåterfyllningen på fosforförluster från jordbruksmark. Slutrapport. Stiftelsen lantbruksforskning.
- Magnusson, M. 2000. Myten om idealiskt pH. Röbbäcksdalen meddelar, 1. Institutionen för norrlänskt jordbruksvetenskap, Sveriges lantbruksuniversitet.
- Miljödepartementet. 2009. Förordning om statligt stöd till lokala vattenvårdsprojekt. (SFS 2009:381).
- Miljömålsrådets hemsida. 2012. <http://www.miljomal.se/sv/Miljomalen/7-ingen-overgodning/Preciseringar-av-ingen-overgodning/Miljodepartementet>
- Muukkonen, P., Hartikainen, H. & Alakukku, L. 2009. Boardmill sludge reduces phosphorus losses from conservation-tilled clay soil. *Soil & Tillage Research* 104, 285-291.
- Nordkalk. År okänt. *Nordkalk Aito kalkningsguide*. Tillgänglig 2017-03-13  
[https://www.farmit.net/sites/default/files/news\\_attachments/kalkningsguide\\_2014.pdf](https://www.farmit.net/sites/default/files/news_attachments/kalkningsguide_2014.pdf)
- ProjectBorn. År okänt. *Fosforläckage från lerjordar*. ProjectBorn. Tillgänglig: 2017-04-18. <http://www.projectborn.se/fosforlackage/>
- ProjectBorn. År okänt. *Kalkfilterdiken*. ProjectBorn. Tillgänglig: 2017-04-20. <http://www.projectborn.se/kalkfilterdiken/>
- ProjectBorn. År okänt. *Vad är kalk?* ProjectBorn. Tillgänglig: 2017-04-18  
<http://www.projectborn.se/vad-ar-kalk/>
- Rolff, C., Almesjö, L. & Elmgren, R., 2007. Nitrogen fixation and the abundance of the diazotrophic cyanobacterium *Aphanizomenon* sp. in the Baltic Proper. *Marine Ecology Progress Series* 332: 107-118.
- Rolfsson, H. 2006. *Askgodsling kan urlaka skogsmark*. ATL, Lantbrukets Affärstidning, 2014-06-04. <http://www.atl.nu/skog/askgodsling-kan-urlaka-skogsmark/>
- Shanmuganathan, R. T. & Oades, J. M. 1983. Modification of Soil Physical Properties by Addition of Calcium Compounds. *Aust. J. Soil Res.*, 21; 285-300
- SMHI. 2015. *Vad betyder +2C global temperaturökning för Sveriges klimat*. SMHI. Tillgänglig 2017-05-28

<https://www.smhi.se/kunskapsbanken/vad-betyder-2-c-global-temperaturokning-for-sveriges-klimat-1.92072>

Snaprud, P. 2010. *När fosfor sinar blir det svält*. Forskning och Framsteg 4, 2010. Tillgänglig 2017-05-20

<http://fof.se/tidning/2010/4/nar-fosfor-sinar-blir-det-svalt>

Svanbäck, A. 2014. Mitigation of Phosphorus Leaching from Agricultural Soils: Improved Fertilization and Soil Structure. *Acta Universitatis agriculturae Sueciae* 2014:36, 1652-6880; Dissertation. Sveriges lantbruksuniversitet.

Svanbäck, Ulén, & Etana. 2014. Mitigation of phosphorus leaching losses via subsurface drains from a cracking marine clay soil. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 184, 124-134

Ulén, B., & Etana, A. 2014. Phosphorus leaching from clay soils can be counteracted by structure liming. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B — Soil & Plant Science*, 1-9.

## Muntliga referenser

Berglund, K. 2018. Föreläsning markvårdande åtgärder – strukturkalkning. 2018-01-24. Marken i odlingen. Uppsala: Sveriges lantbruksuniversitet, institutionen för mark och miljö.

<http://www.forsoken.se/Konferens/Svea/2012/Strukturkalkning%20-%20Lova.pdf>

Hoffman, M. 2017. Regional växtodlings- och växtskyddskonferens. Uddevalla.

Kirchman, H. 2017. Föreläsning växtnäring. Uppsala: Sveriges lantbruksuniversitet, institutionen för mark och miljö.