

# Zinkflöde till marken i svensk smågrisproduktion

*Zinc flow to the soil in Swedish piglet production*

Magnus Åhman



Magisteruppsats i markvetenskap  
Agronomprogrammet – inriktning mark/växt

SLU, Sveriges lantbruksuniversitet  
Fakulteten för naturresurser och lantbruksvetenskap  
Institutionen för mark och miljö

Magnus Åhman

Zinkflöde till marken i svensk smågrisproduktion  
Zinc flow to the soil in Swedish piglet production

Handledare: Jan Eriksson, institutionen för mark och miljö, SLU  
Examinator: Sigrun Dahlin, institutionen för mark och miljö, SLU

EX0429, Självständigt arbete i markvetenskap – magisterarbete, 30 hp, Avancerad nivå, A1E  
Agronomprogrammet – inriktning mark/växt 270 hp

Serienamn: Examensarbeten, Institutionen för mark och miljö, SLU  
2013:06

Uppsala 2013

Nyckelord: zink, zinkoxid, avväjningszink, smågrisproduktion, fältbalans, stallbalans, zinkflöden, zink ackumulation

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

Omslag: foto Linnea Persson, 2010

## Sammanfattning

Hos grisgårdar ingår zink som ett fodertillskott för att uppfylla det fysiologiska behovet hos grisarna. Dessutom kan zink i högdos (2000 mg Zn/kg foder) användas vid smågrisavvänjningen för att förebygga avvänjningsdiarré. Zinktillskotten i fodret gör att zinkhalten i grisstallgödseln blir högre och via stallgödseln kan således betydande mängder zink tillföras åkermarken. En hög zinkhalt i åkermarken kan påverka mikroorganismer, markdjur och växter negativt vilket försämrar jordens funktion som producent av livsmedel. Speciellt känsliga anses mikroorganismerna vara. Syftet med arbetet var att undersöka zinkflödet till åkermarken i svensk smågrisproduktion för att se hur markens zinkhalt påverkas långsiktigt. Speciell vikt lades på användningen av zinkoxid i högdos.

För att kunna avgöra hur zinkhalten i åkermarken påverkas av smågrisproduktion upprättades stallbalanser och fältbalanser för integrerade och specialiserade besättningar samt satellitbesättningar. Utifrån dessa beräknades antalet år det tar att höja markens zinkhalt från det nuvarande medelvärdet för åkermark i Västra Götaland (50 mg Zn/kg jord) till den halt där avloppsslamgödning inte är tillåten (100 mg Zn/kg jord). Indata till balanserna hämtades via litteraturstudier. Markprovtagning genomfördes på fält där gödsel från smågrisbesättningar spridits under lång tid och närliggande fält där stallgödsel inte spridits. Detta för att se om zinkhalten i verkligheten har ökat till följd av spridning av grisstallgödsel.

Enligt beräkningarna höjs zinkhalten i åkermarken snabbast för de besättningar som använder zink i högdos, det tar 68-135 år att fördubbla halterna. Där har satellitbesättningen den snabbaste ackumulationstakten och den integrerade besättningen den långsammaste ackumulationstakten. Då zinkoxid i högdos inte används tar motsvarande höjning 198-262 år, där har den integrerade besättningen den snabbaste ackumulationstakten och den specialiserade besättningen den långsammaste. I markprovtagningen blev det en signifikant högre zinkhalt i matjorden för de stallgödselade fälten för de ojusterade värdena. Men när zinkhalten i matjorden justerades med hjälp av halten i alvproven för att få bort den naturliga variationen blev det inga signifikanta skillnader. Tolkningen av markanalyserna är därför osäker för om zinkhalten i verkligheten höjts till följd av stallgödselspridning borde det även blivit en signifikant skillnad för de alvjusterade värdena.

Akkumulationsberäkningarna skedde mot gränsen över vilken tillförsel av avloppsslam inte är tillåten (100 mg Zn/kg jord). Den verkliga zinkhalten då problem kan uppstå i marken för mikroorganismer, växter och markdjur behöver inte vara densamma. Studierna som har gjorts visar upp stor variation i den zinkhalt i marken som orsakar toxiska effekter på mikroorganismer och markdjur. Användningen av zinkoxid i högdos vid smågrisavvänjningen ger enligt beräkningarna betydligt högre zinkhalt i grisstallgödseln samt en betydligt snabbare zinkackumulation i åkermarken. Enligt beräkningarna är troligen användningen av zinkoxid i högdos vid smågrisavvänjningen inte ett akut problem för majoriteten av svensk åkermark. Däremot kommer användningen på lång sikt troligen att leda till för höga zinkhalter i åkermarken vilket betyder att användningen av zinkoxid i högdos bör fasas ut i framtiden. Markprovtagningen bekräftade inte ackumulationstakten från beräkningarna men visade tendenser till att zinkhalten höjts till följd av spridning av grisstallgödsel.

## Summary

Pig farms in Sweden add zinc as a feed additive to satisfy the physiological need of zinc. Also high dose of zinc oxide (2000 mg Zn/kg fodder) can be used during the weaning of the piglets to prevent diarrhea. The use of zinc additives increase the zinc concentration in the manure and when the manure is spread on the fields zinc is added to the soil. A high zinc concentration in the soil can affect microorganisms, soil fauna and plants negatively which degrade the function of arable land as a producer of crops. Microorganisms are considered to be particularly sensitive. The aim of this study was to investigate the zinc flow to arable land in Swedish piglet production to see how the soil's zinc concentration is affected in a long-term perspective. Special attention was given the use of zinc in high dose.

In order to determine how the zinc accumulation is affected by piglet production barn balances and field balances were made for integrated, specialized and satellite herds. From the balances, calculation was made for how long time it takes to reach 100 mg Zn/kg soil from the average zinc concentration for Västra Götaland (50 mg Zn/kg soil) in arable land. All the data to the balances was gathered through a literature study. Soil sampling was done at fields where manure from piglets producers had been spread during many years and at nearby fields where manure had not been spread. This was done to see if the zinc concentration in reality had increased due to the spread of pig manure.

Calculations show that the zinc concentration increase was fastest for the herds that use high dose of zinc, doubling takes 68-135 years. Of these, the satellite herd has the fastest accumulation rate and the integrated herd has the slowest accumulation rate. When zinc in high dose was not used the corresponding time for doubling was 198-262 years, with the fastest accumulation rate for the integrated herd and slowest for the specialized herd. From the soil sampling the unadjusted values showed a significantly higher zinc concentration in the topsoil from the fields where pig manure has been applied for many years. But when the zinc concentration in the topsoil was adjusted to take the natural variation in consideration using subsoil concentrations, there were no significant differences. If the zinc concentration in reality had increased as a result of pig manure application it should also have been significant differences for the adjusted values. Therefore the interpretation of the results from the soil sampling is uncertain.

The calculations of zinc accumulation were made against the limit above which application of sewage sludge according to Swedish legislation is not allowed (100 mg Zn/kg soil). The real zinc concentration when problems to microorganisms, soil fauna and plants occur doesn't need to be the same. Studies have shown large variations in zinc concentrations which have caused toxic effects on microorganisms and soil fauna. According to the calculations here, the use of zinc oxide in high dose increases the concentration of zinc in the pig manure and gives a considerably faster zinc accumulation in arable land. The use of zinc oxide in high doses is probably not an acute problem for the majority of the Swedish arable land. However, in a long-term perspective the use of zinc in high dose will probably make the zinc concentration in soil too high. This mean that the use of zinc oxide in high dose during the weaning of piglets should be phased out in the future. The calculated rate of accumulation was not confirmed by actual measurements of zinc concentration in arable land that belongs to piglet producers. But the soil sampling still show a tendency of higher zinc concentration due to the use of pig manure.

# Innehållsförteckning

<b>1. Inledning</b>	<b>7</b>
<b>2. Litteraturstudie</b>	<b>8</b>
2.1 Allmänt om zink och dess förekomst i marken	8
2.2 Toxicitet	9
2.3 Flödesbalanser	11
2.4 Inflöden stallbalans	11
2.4.1 Zink i foder	11
2.4.2 Föreskrivning av zink i avvänjningsfoder	11
2.4.3 Zink i dricksvatten	12
2.4.4 Zink i strömedel	12
2.4.5 Övriga tillförelskällor	12
2.5 Utflöden stallbalans	13
2.5.1 Produkter	13
2.5.2 Stallgödsel	13
2.6 Inflöden fältbalans	13
2.6.1 Nedfall via luften	13
2.6.2 Handelsgödsel och kalk	14
2.6.3 Avloppsslam	14
2.6.4 Biogödsel och kompost	14
2.6.5 Stallgödsel	15
2.6.6 Övriga tillförelskällor	15
2.7 Utflöden fältbalans	16
2.7.1 Skördebortförel	16
2.7.2 Läckage/utlakning	16
<b>3. Material och metoder</b>	<b>17</b>
3.1 Indata stallbalans	17
3.1.1 Inflöde av zink via foder	18
3.1.2 Inflöde av zink via halm	18
3.1.3 Utflöde av zink via djur	19
3.1.4 Zink i stallgödsel	19

<i>3.2 Indata Fältbalans</i>	20
3.2.1 Nedfall via luften	20
3.2.2 Stallgödsel	21
3.2.3 Handelsgödsel	24
3.2.4 Skördebortförsel	24
3.2.5 Utlakning	26
<i>3.3 Zinkackumulation</i>	26
<i>3.4 Markundersökning</i>	26
<b>4. Resultat</b>	<b>28</b>
<i>4.1 Stallbalansberäkningar</i>	28
<i>4.2 Fältbalansberäkningar</i>	29
<i>4.3 Zinkackumulationstakt</i>	30
<i>4.4 Markundersökning</i>	30
<b>5. Diskussion</b>	<b>32</b>
<i>5.1 Stallbalansberäkningar</i>	32
<i>5.2 Fältbalansberäkningar</i>	32
<i>5.3 Zinkackumulationstakt</i>	33
<i>5.4 Markundersökning</i>	34
<i>5.5 Sammanfattande diskussion</i>	34
<b>6. Slutsatser</b>	<b>36</b>
<b>7. Erkännande</b>	<b>36</b>
<b>8. Referenser</b>	<b>37</b>
<b>9. Bilagor</b>	<b>44</b>
<i>9.1 Naturligt innehåll av zink i foder</i>	44
<i>9.2 Handelsgödselels bidrag till zink i fältbalansen</i>	44
<i>9.3 Zinktillförsel då andra fosforhaltsdata för stallgödseln används</i>	47
<i>9.4 Andelen smågrisar som får zinkoxid i högdos</i>	48
<i>9.5 Rådata matjord från markprovtagning</i>	49

## 1. Inledning

I djurproducerande gårdar är det vanligt att foder köps in och att fodertillsatser används. Detta gör att vissa ämnen som inte har sitt ursprung från det egenproducerade fodret kommer tillföras åkermarken via stallgödseln.

På grisgårdar ingår zink som ett fodertillskott för att uppfylla det fysiologiska behovet hos grisarna (Göransson pers. medd., 2012). Dessutom kan zinkoxid i högdos (2000 mg Zn/kg foder) användas vid smågrisavvänjning för att förebygga avvänjningsdiarré (Melin et al., 1997). Avvänjningen då smågrisarna skiljs från saggorna sker då smågrisen är mellan 4-6 veckor gammal (Ewing, 2006). Själva diarrén kan uppkomma 4-14 dagar efter avvänjningen och orsakas av fysisk stress eller bakterieinfektioner vilket leder till nedsatt tillväxt och ökad dödlighet i smågrisbesättningarna (Melin et al., 1997; Löfstedt och Holmgren, 2005; Ewing 2006). Zinkoxid i förebyggande syfte är ett alternativ till antibiotikabehandling.

Zinktillskott i grisfoder ökar zinkhalten i stallgödseln. Flera studier har visat på en hög zinkhalt i gristallgödsel (Poulsen, 1998; Nicholson et al., 1999; Steineck et al., 1999). Via stallgödseln kan således betydande mängder zink tillföras åkermarken. Zink kan även tillföras åkermarken som en förorening i handelsgödselmedel, kalk och avloppsslam (Eckel et al., 2005). Utflödena av zink från åkermarken är liten (Kabata-Pendias och Pendias, 2001). Tillförseln av zink från stallgödsel, handelsgödsel, kalk och avloppsslam kan således göra att zink ackumuleras vilket på sikt kan leda till hög zinkhalt i åkermarken. Zink är ett livsnödvärdigt näringsämne för växter och djur men i för höga halter blir zink skadligt (Kiekens, 1995). En hög zinkhalt i åkermarken kan påverka mikroorganismer, markdjur och växter negativt vilket kan försämra jordens funktion som producent av livsmedel.

Syftet med arbetet är att undersöka zinkflödet till åkermarken i svensk smågrisproduktion för att se hur markens zinkhalt påverkas långsiktigt. Arbetet har föranletts av att Svenska Djurhälsovården AB har fått i uppdrag av Läke-medelsverket att ta fram ett underlag som visar hur högdos av zinkoxid i smågrisfoder kan påverka åkermarken. Uppsatsen är uppdelad i litteraturstudie, stallbalansberäkningar, fältbalansberäkningar, ackumulationsberäkningar och markprovtagning på åkermark.

## 2. Litteraturstudie

### 2.1 Allmänt om zink och dess förekomst i mark

Zink är ett grundämne som tillhör grupp II-B i det periodiska systemet och klassas som en tungmetall (Adriano, 2001). I samhället används zink för många ändamål t.ex. för galvanisering av stål, i färg och som beståndsdel i mässing.

I biologiska sammanhang är zink livsnödvändig för växter, djur och människor (Kiekens, 1995). Zink ingår i många viktiga enzym. Hos djur är enzym innehållande zink involverade i processer som energimetabolism, transkription och translation. I växter ingår zink i enzymer som är involverade i kolhydrat- och proteinmetabolism (Kiekens, 1995). Zinkbrist hos djur ger symptom som ovilja att äta, minskad tillväxt och hudförändringar. I Sverige är brist hos växter ovanligt då marken oftast innehåller de mängder som behövs, brist är vanligast på sura sandjordar och mossetorvjordar (Eriksson et al., 2005). Bristssymptom hos växter är kloros, violröda punkter på bladen och hämrad tillväxt (Kabata-Pendias och Pendias, 2001).

Den naturliga halten av zink i marken varierar men brukar normalt vara mellan 10-300 mg Zn/kg jord även om det finns jordar med högre zinkhalt (Adriano, 2001; Eriksson et al., 2005). Stor betydelse för halten i marken är modernmaterialens innehåll av zink (Kiekens, 1995; Eriksson et al., 2005). Analyser på svensk åkermark har visat på zinkhalter i matjorden mellan 5-612 mg Zn/kg torrs substans jord med ett medelvärde på 59 mg Zn/kg ts jord (Eriksson et al., 2010). Det finns en variation mellan regioner i Sverige, t.ex. är ofta zinkhalten i åkermarken runt Mälaren betydligt över medel (över 100 mg Zn/kg ts jord) att jämföra med Västra Götaland där zinkhalten mestadels är under Sverigemedel.

Zink finns i olika former i marken och delas upp i tre grupper (Kiekens, 1995):

- $Zn^{2+}$ -joner och organiska zinkkomplex fria i marklösningen.
- Utbytbar zink adsorberad på lermineral, humusföreningar, järn och aluminiumoxider.
- Fastlagda i sekundära mineral och som olösliga komplex i jorden.

Dessutom ska det tilläggas att zink även finns i primära mineral där zink långsamt frigörs via vittring (Kabata-Pendias och Pendias, 2001). Mängden av zink i olika former bestäms av jämvikter mellan olika reaktioner som: utfällning- upplösning, adsorption- desorption samt bildning och upplösning av komplex (Kiekens, 1995). En förändring som växtupptag eller vittring av primära mineral förändrar förhållandet och en ny jämvikt inställer sig (Kiekens, 1995).

Zink binds snabbt och relativt hårt i marken (Adriano, 2001; Kabata-Pendias och Pendias, 2001). Detta gör att tillförd zink binds ganska effektivt och till stora delar skyddas från läckage och ytavrinning. Av denna anledning tenderar zink att ackumuleras i ythorisonten i markprofiler. Det är bara en mindre del av markens zink som är i löslig form, halterna av zink är mellan 4- 270 ug/l i marklösningen (Kabata-Pendias och Pendias, 2001). Dessutom är andelen zink som är i utbytbar form låg (Adriano, 2001; Eriksson et al., 2005). Det är flera faktorer som avgör hur tillgänglig zink är för växter samt hur mycket mikroorganismerna exponeras för metallen. En jord med hög lerhalt och/eller mycket organiskt material gör att mer zink binds i otillgänglig form än en jord med litet innehåll av ler och organiskt material



(Kiekens, 1995; Adriano, 2001; Eriksson et al., 2005). Tillgängligheten påverkas också starkt av pH. Vid pH-höjning ökar adsorptionen till ler och organiskt material eftersom markpartiklarnas negativa laddningar blir större (Kabata-Pendias och Pendias, 2001).

## 2.2 Toxicitet

Höga zinkhalter i marken anses främst vara ett problem för mikroorganismer, markdjur och växter (Dudka och Miller 1999; Lock och Janssen, 2001; McLaughlin och Smolders, 2001). Den känsligaste organismgruppen för förorening av tungmetaller i marken anses vara mikroorganismer (Giller et al., 1998).

Om mikroorganismerna och markdjuren påverkas negativt av zinkförorening kan markens bördighet försämrans. Markdjuren har del i nedbrytningen av organiskt material genom att de sönderdelar färska växt- och djurrester men också genom att föra ner materialet i marken där förhållandena är mer gynnsamma för mikroorganismerna (Lavelle, 1997; Lavelle et al., 2006). Mikroorganismerna bryter ner organiskt material (mineralisering) och frigör därmed näringsämnen (N, P, S) så de åter blir tillgängliga för andra organismer (Kennedy och Papendick 1995; Winding et al. 2005). De kan även påverka lösligheten av andra svårtillgängliga näringsämnen (P, Mn, Fe, Cu) så att växterna kommer åt dem. Mikroorganismerna har stor betydelse för att bryta ner organiska föroreningar/föreningar såsom pesticider (Kennedy och Papendick, 1995). Utöver att nedbrytningen kan försämrans vid höga zinkhalter kan även markens struktur bli sämre då både markdjur och mikroorganismer bidrar till att bygga upp denna (Kennedy och Papendick 1995; Lavelle, 1997). Mikroorganismerna stabiliserar aggregat medan markdjur, speciellt daggmaskar skapar gångar (makroporer) som bidrar till genomluftningen och infiltrationen i marken.

Det finns en stor variation mellan olika undersökningar i vilka tröskelvärden som erhållits för när zink blir skadligt för mikroorganismer i marken (McLaughlin och Smolders, 2001; Giller et al., 2009). Ett exempel är undersökningar där EC50 (den halt där 50 % inhibering uppnås) för zinks effekt på lustgasreduktion bestämdes. Där fick Ruyters et al. (2010) ett EC50 på 500-1000 mg Zn/kg jord i olika försöksled. De Brouwere et al. (2007) bestämde däremot i ett försök i laboratorium EC50 till 231 mg Zn/kg ts och 368 mg Zn/kg ts beroende på försöksjord. I samma studie fann De Brouwere et al. (2007) ingen minskning av lustgasreduktionen i fältförsök. Detta trots att zinkhalten i jorden var 5 gånger högre än EC50 värden som tidigare bestämts i laboratorieförsöket. Jordar som experimentellt kontaminerats med zink tenderar att ha lägre tröskelvärden för negativa effekter på mikroorganismer och markdjur än jordar som sedan länge varit kontaminerade i fält (Smolders et al., 2009; Spurgeon och Hopkin, 1995). För markdjur är variationen i zinkkänslighet också stor. I en litteratursammanställning av Lock och Janssen (2001) angavs värden mellan 400 till 1000 mg Zn/kg ts jord som lägsta halt som påverkade maskar (*Eisenia fetida*) negativt. I ett fältförsök av Nahmani och Lavelle (2002) saknades maskar helt i jord som innehöll 2000 mg Zn/ kg jord. Andra markdjur fanns kvar vid högre zinkhalter.

Variationen i försöksresultaten har flera orsaker (Smit och van Gestel, 1998; Lock et al., 2000; Smolders et al., 2009). En viktig anledning är att de undersökta jordarnas egenskaper skiljer sig vilket gör att olika mycket zink är biotillgängligt (CEC, pH, ler, oxider, organiskt material). Andra orsaker är att olika organismer är olika känsliga för zink samt att olika metoder används vid undersökningar av zinks giftighet. Undersökningar har dessutom visat

att mikroorganismer och markdjur kan utveckla tolerans mot tungmetaller (Posthuma och Van Straalen, 1993; Giller et al., 1998; McLaughlin och Smolders, 2001; Rusk et al., 2004; Filser et al., 2008). Däremot är det ofta svårt att särskilja om det är aklimatisering eller adaptation eller båda tillsammans som ger den utvecklade toleransen. Specifikt för zink har Mertens et al. (2006) visat att nitrifierarna var mer toleranta mot ytterligare förorening i en jord som redan var förorenad jämfört med en jord som inte var förorenad från början. Ruyters et al. (2010) visade i en undersökning att tillsats av zink till en början minskade lustgasreduktionen, men att den efter 12 månader hade återhämtat sig. Detta tyder på att mikroorganismerna kan anpassa sig till högre zinkhalter. Det verkar vara en samstämmig åsikt att det är en hel del forskning kvar att göra på markens ekosystem, speciellt gällande markdjur och mikroorganismers känslighet mot föroreningar (Lavelle et al., 2006; Filser et al., 2008; Giller et al., 2009).

För växter kan skördeminskningar med 10 % uppstå vid vävnadshalter på 100-500 mg Zn/kg ts enligt en litteraturstudie av Kabata-Pendias och Pendias (2001). Symptom på giftiga halter i växter är klorotiska och nekrotiska bladspetsar, hämmad tillväxt och skadade rötter. I en undersökning av Dudka et al. (1994) på vårvete gav en tillsats till 1000 mg Zn/kg i jorden skördeminskningar på 30 % i halmmängd och 40 % i kärnskörd. Vid en tillsats till 1500 mg Zn/kg i jorden producerade vårvete inte längre några kärnor och vid ännu högre halter dog plantorna. Zinkhalten i grödans vävande ökade med ökad zinkhalt i marken men var högre i halmen än i kärnan. Vid 1000 mg Zn/kg i marken blev halten av zink 1587 mg/kg i halmen och 212 mg/kg i kärnan. Vävnadshalter upp till 500 mg Zn/kg i halm respektive 140 mg Zn/kg i kärnan gav i den studien ingen skördeminskning. I raps påverkades grödan negativt vid 300 mg Zn/kg i marken och vid 1000 mg Zn/kg var symptomen på zinkförgiftning tydliga (Montilla et al., 2003). I en studie på baljväxtgrödor (ärt och klöver) gav en halt på 150 mg Zn/kg ts i jorden 25 % skördeminskningar i ärtor (Chaudri et al., 2000). Det var troligen de kvävefixerande bakterierna som påverkades även om direkt giftighet för grödan inte kunde uteslutas. I en annan undersökning tolererade kvävefixerande bakterier högre halter än så (Chaudri et al., 2008).

Zink anses generellt som en tämligen ofgiftig metall för människor p.g.a. att den inte ackumuleras i kroppen med ökad ålder, att större intag ger mindre upptag och större utsöndring samt att det krävs höga doser innan förgiftning sker (Walsh et al., 1994). De allvarliga förgiftningsfall som rapporterats har orsakats av oavsiktligt exponering för mycket höga zinkkoncentrationer. De drabbade återhämtar sig i de allra flesta fallen. Ett intag av 50-300 mg Zn/dygn under längre tid har gett negativa effekter på hälsan såsom försämrat immunförsvar och kopparbrist (SCF, 2003). Även för djur krävs ganska höga halter (några gram Zn/kg foder) för att förgiftning ska ske och zink ackumuleras inte heller i husdjuren (Gupta och Gupta, 1998; SCF, 2003).

Någon lagmässig reglering av zinkhalten i åkermark finns inte i Sverige (Eriksson et al., 2010). Däremot finns lagstiftning om att åkermark maximalt får innehålla 100 mg Zn/kg ts jord för att avloppsslam ska få spridas (SNFS, 1994). I Jämtlands, Stockholms, Södermanlands, Uppsala, Västernorrlands och Västmanlands län är gränsvärdet dock högre. Zinkhalten får i dessa regioner uppgå till 150 mg Zn/kg ts jord. Kartering utförd av Eriksson et al. (2010) visade att av de ca 5 000 markproverna fördelat över svensk åkermark hade 4 % högre halter än de aktuella gränsvärdena. Det finns även en bestämmelse om att man med avloppsslammet maximalt får tillföra åkermarken 600 g Zn/ha och år (Albertsson, 2011).

## 2.3 Flödesbalanser

Flödesbalanser används flitigt vid undersökningar på jordbruket ur ett hållbarhetsperspektiv (Andersson, 1992; Bengtsson et al., 2003; Öborn et al., 2003). Metoden är vanlig vid studier av kväve, fosfor och tungmetaller (Andersson, 1992; Öborn et al., 2003). Balanser för ämnesflöden i jordbruket kan göras för nationell, gårds- eller fältnivå (Eckel et al., 2005). En balans på nationell nivå är lämplig som ett underlag för analys av ekonomisk påverkan samt som underlag för lagstiftning (Moolenaar och Lexmond, 1999). Den nationella skalan ger däremot ingen uppfattning om variation i haltförändringar som beror på lokala förutsättningar som jordens egenskaper och odlingsåtgärder i olika driftalternativ. En gårdsbalans följer de specifika flödena in och ut från gården och ger en uppfattning om vad i driften som ger de största flödena. En fältbalans är direkt kopplad till inflöden och utflöden till ett specifikt fält vilket i sin tur beror på växtodlingen. Vilken skala som är lämplig beror således på vad undersökningen vill svara på.

För att följa flödet av zink till stallgödseln och bestämma zinkhalten i denna kan en stallbalans användas. En stallbalans är ett delsystem i en gårdsbalans (Gustafson et al., 2003). Stallbalansen består av inflöden till stallet i form av foder, strömedel och inköpta djur samt utflöden som består av stallgödsel och färdiga smågrisar/slaktsvin (samt döda djur som lämnar stallet).

## 2.4 Inflöden stallbalans

### 2.4.1 Zink i foder

I grisfoder finns ett naturligt innehåll av zink i de foderkomponenter som ingår i foderstaten men zink tillsätts också i fodret som en fodertillsats. Fodersammansättningen skiljer sig till viss del mellan smågrisar, slaktsvin och suggor (Simonsson et al., 1997). Val av fodersammansättning påverkas också av vilken ålder djuret har eller vilket stadium i produktionen de befinner sig i (sinsugga eller digivande sugga). Vissa grisproducenter gör egna foderblandningar och det är vanligt förekommande att restprodukter från livsmedelsindustrin används i grisfoder, t.ex. vassle och bröd. Zinkhalten i olika fodergrödor som används varierar beroende på hur mycket zink de tagit upp (se avsnitt 2.7.1). I markkarteringen av åkermark analyserade Eriksson et al. (2010) zinkhalter i spannmålskärnor. Halterna i höstvetete varierade mellan 13 och 53 mg Zn/kg ts med ett medelvärde på 25 mg Zn/kg ts. För vårkorn var motsvarande siffror 11-80 mg Zn/kg ts respektive 30 mg Zn/kg ts.

Det naturliga innehållet av zink i foder är inte tillräckligt för att möta grisarnas fysiologiska behov. För att kompensera detta tillsätts zink i fodret främst i form av zinkoxid eller zinksulfat (Göransson pers. medd., 2012). För att möta slaktsvinens behov av zink bör fodrets zinkhalt vara 50 till 100 mg Zn/kg (90 % ts) foder beroende på slaktsvinens vikt (NRC, 1998). Suggor och galtar behöver minst 50 mg Zn/kg (90 % ts) foder. Enligt en EU-bestämmelse får maximalt 250 mg Zn/kg ts tillsättas i fodret utan förskrivning av veterinär (EG 1334/2003).

### 2.4.2 Förskrivning av zink i avvänjningsfoder

Det är tillåtet att blanda in 2000 mg Zn/kg foder efter förskrivning av veterinär (SVS, 2011). Den utfodringen får maximalt användas till och med 2 veckor efter avvänjningen (Stampe,

2011). Anledningen till den stora dosen är att zinkoxiden då har en förebyggande effekt mot avvänjningsdiarré (Holmgren, 1994; Poulsen, 1995). Förklaringen anses vara att zinkoxiden stabiliserar tarmfloran vilket gör att skadliga mikroorganismer får det svårare att konkurrera ut normala bakteriefloran hos smågrisen (Melin et al., 1997). Under 2010 beräknades att cirka 35 % av de svenska smågrisarna behandlades förebyggande med zinkoxid i högdos mot avvänjningsdiarré (Stampe, 2011).

Inblandning av zinkoxid i högdos mot avvänjningsdiarré har varit tillåten i Sverige sedan 1992 (Melin et al., 1997). Användningen var stor fram till 1998 för att sedan kraftigt minska (SJV, 2003a). Anledningen är att 1998 infördes krav på att inblandning av zinkoxid i högdos enbart tillåts efter förskrivning av veterinär. År 2002 användes ca 3 500 kg zinkoxid därefter ökande användningen igen och år 2010 användes 15 500 kg zinkoxid (SJV, 2003b; Dahlström et al., 2011).

#### 2.4.3 Zink i dricksvatten

Dricksvatten innehåller små mängder av metaller. Enligt Eckel et al. (2005) är dess bidrag till zinkhalten i stallgödsel mycket litet och kan försummas i balansberäkningar.

#### 2.4.4 Zink i strömedel

Det finns olika former av strömedel som kan användas i grisproduktionen, t.ex. halm, torvströ och sågspån (Simonsson et al., 1997). Vanligen används halm som strö i grisboxarna. Halm har även andra funktioner som bukfylla, fibertillskott och även som viss sysselsättning för grisarna. Halmen kan vara egenproducerad eller inköpt till gården. I Öborn et al. (1995) varierade zinkhalten i vårvetehalm från 43 fält i Sverige mellan 6,3 och 79,2 mg Zn/kg ts med ett medianvärde på 16,1 mg/kg halm. Sauvant et al. (2004) uppmätte en medelhalt av zink i vetehalm på 19 mg Zn/kg.

#### 2.4.5 Övriga tillförelskällor till gris

I Eckel et al. (2005) har 15 flödesbalanser undersökts och i några fall har det visat sig att utflödet av metaller från stallet var större än inflödet. Det kan innebära att det finns källor som inte identifierats i balanserna och som bidrar till zinkhalten i gödseln. Dessa okända källor motsvarande en tillförel till fälten mellan 7,9 och 2164 g Zn/ha och år i de olika studierna med ett medianvärde på 186 g/ha och år. En sådan källa skulle kunna vara zink från galvaniserat stål. Mycket av utrustningen (redskap och inredning) som används i stallarna är av galvaniserat stål (Eckel et al., 2005). När utrustningen nöts ner och korroderar kommer zink att hamna i gödsel och vatten som hamnar i gödselbrunnen. I en studie av zinkflöden på en mjölkgård var zinkmängden som fördes in i ett stall mindre än mängden som fördes ut (Gustafson et al., 2007). Detta antyder enligt författarna att zink från korrosion av galvaniserad utrustning kan ha tillförts stallgödseln. Eckel et al. (2005) framhåller dock att i många fall handlar det snarare om en avsaknad på tillförlitliga värden på zinkhalter i foder och andra poster i balansen.

## **2.5 Utflöden stallbalans**

### 2.5.1 Produkter

Av den zink som grisen konsumerar kommer bara en liten mängd att tas upp av grisens kropp. Denna zink lämnar gården när grisarna går till slakt eller smågrisarna säljs. En smågris på 30 kg vikt innehåller ca 400 mg zink och ett slaktsvin på 120 kg vikt innehåller ca 1500 mg zink (Mahan och Shields, 1998). En 24 månader gammal sugga innehåller 3750 mg zink (Mahan och Newton, 1995).

### 2.5.2 Stallgödsel

Den tillförda zink som inte hamnar i produkterna kommer att hamna i stallgödseln som vanligen sprids på gårdens åkermark och bidrar till zinkinflödet till åkermarken. Zinkhalten i grisgödsel var högre än halten av zink i avloppsslam i en dansk studie (Bach et al., 2002). Det är dock en ganska stor variation i uppmätta zinkhalter i grisgödsel (Eckel et al., 2005; Nicholson et al., 1999). I en engelsk studie var intervallet 5-2500 mg Zn/kg ts för grisflytgödsel respektive 206-716 mg Zn/kg ts för fastgödsel (Nicholson et al., 1999). I en svensk studie där zinkhalten analyserades i grisflytgödsel från 14 olika grisgårdar blev medelvärdet för zinkhalten 635 mg Zn/kg ts (Steineck et al., 1999). Grisgödsel anses som en viktig källa till zinkackumulation i åkermark (Jondreville et al., 2003; Nicholson et al., 2003; Eckel et al., 2005; Gräber et al., 2005).

## **2.6 Inflöden fältbalans**

Till skillnad från organiska föroreningar kan inte metallföroreningar brytas ner utan kan bara lämna jorden genom olika utflöden (Moolenaar och Lexmond, 1999). Om inflödena av zink till åkermarken är större än utflödena ackumuleras zink i åkermarken. När väl zinkhalterna nått skadliga nivåer i marken tar det lång tid innan halterna minskar igen eftersom utflödena tenderar att vara låga (Kabata-Pendias och Pendias, 2001).

### 2.6.1 Nedfall via luften

En källa för zink till åkermark är deposition (nedfall) via luften. Zink i luften har till stor del sitt ursprung från smältverk och förbränning av fossila bränslen (kol och olja) (Kiekens, 1995). Hur stor depositionen är varierar mellan länder och regioner inom länder p.g.a. förekomst av utsläppskällor, avstånd till utsläppskällor och meteorologiska förhållanden. Depositionen av metaller mäts genom att nederbörd samlas upp och metallkoncentrationen analyseras (Svensson, 2003). En annan metod är att analysera halten av metaller i mossor vilket främst visar depositionsmönster men dessa halter kan även räknas om för att skatta den totala depositionen (Rühling et al., 1992). I tabell 1 visas zinkdepositionen som beräknats utifrån zinkhalten i regnvatten och nederbörd (IVL, 2011). Som synes varierar depositionen en del mellan åren.

**Tabell 1.** Zinkdeposition (g Zn/ha) på mätplatser i Jämtland (Bredkälen), Halland (Råö) och Skåne (Vavihill).

År	Jämtland	Halland	Skåne
2009	21	33	57
2010	25	62	53
2011	25	37	71

### 2.6.2 Handelsgödsel och kalk

Handelsgödselmedel och kalk kan innehålla föroreningar, bland de mer omtalade är förekomsten av kadmium i fosforgödselmedel. När det gäller förekomsten av zink som förorening varierar den mellan olika typer av handelsgödsel och även inom samma typ av gödselmedel (Eckel et al., 2005). I tabell 2 visas halten av zink i olika gödselmedelstyper i Europa. I Sverige har 15 och 16 mg Zn/kg ts uppmätts i två prov av NPK-S 21-4-7 samt 54 respektive 182 mg Zn/kg ts i två prov av superfosfat (Eriksson, 2001).

**Tabell 2.** Zinkhalt (mg Zn/kg ts) i olika gödselmedelstyper i Europa (från Eckel et al., 2005.)

Gödselmedel	Intervall	Median
<b>N</b>	0,6-39	5
<b>P</b>	24-557	236
<b>K</b>	0,7-11	6,6
<b>NPK</b>	15-240	166
<b>Kalk</b>	2,5-166	22

### 2.6.3 Avloppsslam

Avloppsslam kan innehålla betydande mängder metaller och zink är inget undantag. Zink tillförs slammet via avloppsvatten ifrån industrier, speciellt industrier som tillverkar galvaniserade produkter (Levlin et al., 2001). Dessutom tillkommer zink från livsmedel och diffusa källor såsom zink i hudvårdsprodukter (Eckel et al., 2005). Dagvatten är en annan viktig källa till zink i avloppsslam, en hel del material i samhället innehåller zink och när materialet nöts ner hamnar en del av zinken i dagvattnet. Innehållet av zink i slam kan vara stort och slammets kvalitet varierar betydligt beroende på var ifrån slammet kommer. I slamprov från 48 stycken reningsverk i Sverige varierade zinkhalten från 230 till 2300 mg Zn/kg ts med ett medianvärde på 500 mg Zn/kg ts (Eriksson, 2001). I Sverige får avloppsslam maximalt ha en zinkhalt på 800 mg Zn/kg ts för att få användas på åkermark (Naturvårdsverket, 2010; Henriksson et al., 2012). I en engelsk studie var avloppsslam den enskilt största källan av zink i de fält där avloppsslam applicerades (Nicholson et al., 2003).

### 2.6.4 Biogödsel och kompost

I Sverige produceras en del biogas och restprodukterna i biogasanläggningarna kan användas som gödselmedel på åkermark (Starberg, 2005). Innehållet av zink i detta rötslam beror på vad som blandas in i biogasreaktorn, t.ex. kan slakteriavfall, livsmedelrester, matrester från hushåll, stallgödsel, spannmål, halm, vall och avloppsslam användas (Henriksson et al.,

2012). För att produkten ska få benämnas biogödsel får inte avloppsslam användas i samrötningsanläggningen. Majoriteten av den producerade biogödseln i Sverige används som gödselmedel på åkermark. Zinkhalten i biogödsel från 10 samrötningsanläggningar har analyserats och den lägsta noterade zinkhalten var 170 mg Zn/kg ts och det högsta 492 mg Zn/kg ts med ett medelvärde på 299 mg Zn/kg ts (Henriksson et al., 2012).

Kompost innehåller zink och hur stort innehållet är beror på vad som används för att producera komposten (Eckel et al., 2005). Som ett exempel var medelhalten av zink i danskt hushållsavfall 140 mg Zn/kg ts. Kompost används i mycket liten omfattning på åkermark i Sverige (Starberg, 2005).

### 2.6.5 Stallgödsel

Stallgödsel anses som en viktig källa till zinkackumulation i åkermark (Jondreville et al., 2003; Nicholson et al., 2003; Eckel et al., 2005; Gräber et al., 2005). Zinktillförseln till åkermark med stallgödsel beror på hur stor stallgödselmängd som sprids per år och gödselns zinkhalt. Både gödselgivor och zinkhalt skiljer sig för stallgödsel från olika djurslag (Nicholson et al., 1999; Eckel et al., 2005; Albertsson, 2011). I England hade grisgödsel högst zinkhalt, ca 500 mg Zn/kg ts, följt av fjäderfägödsel med ca 400 mg Zn/kg ts (Nicholson et al., 1999). Gödsel från mjölkkor respektive köttdjur hade betydligt lägre zinkhalt, ca 180 mg Zn/kg ts respektive ca 110 mg Zn/kg ts. I en svensk undersökning av stallgödsel var zinkhalten i svinflytgödsel i medeltal 635 mg/kg ts jämfört med flytgödsel från mjölkkor som hade en zinkhalt på 190 mg Zn/kg ts i medeltal (Steineck et al., 1999). I en fältbalans för en mjölkbesättning i Öjebyn i norra Sverige var zinktillförseln via stallgödsel den mest betydande källan med 487 g Zn/ha och år (Bengtsson et al., 2003). Detta i jämförelse med handelsgödselns 4 g Zn/ha och kalkens 5 g Zn/ha.

I en dansk studie undersöktes ackumulationstakten av zink vid gödsling med grisstallgödsel (Poulsen, 1998). Där antogs att det användes en tillsats av 2500 mg Zn/kg smågrisfoder under två veckor efter avvänjningen och under resterande tid 100 mg Zn/kg som fodertillskott. Enligt dessa förutsättningar skulle det ta 75 år att öka zinkhalten i åkermarken från 25 mg Zn/kg jord till 100 mg Zn/kg jord. Enligt Jondreville et al. (2003) skulle det ta 208 år att med spridning av grisgödsel öka zinkhalten i fransk åkermark från 20 mg Zn/kg till 300 mg Zn/kg jord (dåvarande gränsvärde för avloppsslamspridning).

### 2.6.6 Övriga källor

I anslutning till åkermark kan det finnas stolpar till högspänningsledningar, staket, grindar och byggnader som helt eller delvis består av galvaniserad metall innehållande zink (Eckel et al., 2005). När dessa korroderar kan zink tillföras åkermarken. Bevattningsvatten kan innehålla zink men ansågs av Eckel et al. (2005) ha en mycket liten betydelse för tillförsel av zink till åkermark.

## **2.7 Utflöden fältbalans**

### 2.7.1 Skördebortförsl

Det är en skillnad i upptag mellan olika grödor och grödans biomassaproduktion spelar roll för hur stort det totala upptaget av zink blir från marken (Andriano, 2001). Upptaget beror även på markens egenskaper och innehåll av zink (Martinez och Motto, 2000; Adriano, 2001). En hög halt av ler och organiskt material samt ett högt pH i jorden ger ofta mindre zinkupptag av grödan. Det som är intressant i balansberäkningar är de delar av grödorna som skördas och förs bort från fältet. Poulsen (1998) och Joudreville et al. (2003) uppskattade i sina fältbalansberäkningar zinkbortförsln via skörd till 200 g Zn/ha och år. I jämförelse räknade Bengtsson et al. (2003) fram en bortförsl på 143 g Zn/ha och år.

### 2.7.2 Läckage/utlakning

När det gäller utlakning och ytavrinning av zink är det få studier gjorda (Moolenaar och Lexmond, 1999; Bengtsson et al., 2006; Bonten et al., 2008;). Läckagets storlek beror på hur stort nederbördsöverskottet är och hur mycket zink som finns i marklösningen (Moolenaar och Lexmond, 1999). Mängden zink i marklösningen beror på markens egenskaper (pH, ler, organiskt material, katjonbyteskapacitet) samt markens totala innehåll av zink (Adriano, 2001; Kabata-Pendias och Pendias, 2001). Zinkutlakningen kan därmed sägas vara tämligen platsspecifik (Moolenaar, 1999). Vid modellering av utlakning i Nederländerna beräknades zinkutlakningen till 1-100 g Zn/ha och år (Boten et al., 2008). I Öjebyn i norra Sverige har ytavrinning och utlakning studerats under 5 år för några olika åkerjordar (Bengtsson et al., 2006). Det var en viss variation mellan år och mellan jordar för både ytavrinning och utlakning. I medeltal var ytavrinningen 16 g Zn/ha och år. Utlakningen var i medeltal 24 g Zn/ha och år.



### 3. Material och metoder

För att kunna avgöra hur zinkhalten i åkermarken påverkas av smågrisproduktion upprättades stallbalanser och fältbalanser. Besättningstyper med smågrisar valdes eftersom ett av syftena med studien är att undersöka hur avvänjningszink påverkar zinkhalten i grisdödseln och zinktillförseln till åkermarken. Med stallbalanser kan zinkhalten i stallgödseln för smågrisbesättningarna beräknas och med fältbalanser kan den totala årliga zinktillförseln till åkermarken beräknas. Beräkningarna utfördes för besättningar som använder zink i högdos och som en jämförelse besättningar som aldrig gör det. Alla indata bygger på litteraturstudier och har räknats om för att anpassas till flödesbalanser. Provtagning på åkermark som fått stallgödsel från de olika besättningstyperna genomfördes för att se om zinkhalten i verkligheten har förändrats på samma sätt som beräkningarna anger.

Markprovtagningar och beräkningar görs för tre olika besättningstyper som håller smågrisar. De besättningstyper som undersöks är integrerade besättningar, specialiserade besättningar och satellitbesättningar specialiserade på smågrisar. Integrerad produktion innebär att smågrisarna uppföds till färdiga slaktsvin i samma besättning (Simonsson et al., 1997). Det innebär att på gården finns digivandesuggor, sugsuggor, smågrisar och slaktsvin samtidigt. I specialiserad smågrisproduktion håller gården suggor och smågrisar men förmedlar smågrisarna vidare vid en vikt av ca 30 kg till en specialiserad slaktsvinsproducent. Satellitbesättningar ingår i en suggpool/suggring. En suggpool fungerar så att en besättning (navet) håller sugsuggorna och seminerar dem och "hyr" ut dem till satellitbesättningarna där suggorna grisar och smågrisarna föds upp. Suggan återgår till navet vid avvänjningen av smågrisarna. Den aktuella satellitbesättningen är specialiserad på smågrissuppfödning och levererar i sin tur vidare smågrisarna vid en vikt av ca 30 kg till en slaktsvinsgård.

#### 3.1 Indata stallbalans

Beräkningarna i stallbalanserna görs per sexualcykel. För de integrerade besättningarna betyder det att zinkflöden beräknas från starten av dräktighetsperioden över digivningen för suggan till slakt av slaktsvinen i den kullen. I de specialiserade besättningarna innebär det att beräkningarna görs från starten av dräktighet över digivning för suggan till leverans av smågrisarna i den kullen. I satellitbesättningarna görs beräkningarna från då suggan anländer 3 veckor före grisning, under suggans digivning och fram tills smågrisarna lämnar gården vid 30 kg vikt. För beräkningarna antas att en sugga i genomsnitt har 2,2 kullar per år och i genomsnitt får 11 levande smågrisar per kull varav 10,5 blir färdiga slaktsvin (PigWin, 2012ab). Djursammansättningen per sexualcykel för de olika besättningarna framgår i tabell 3 och den är proportionellt densamma som för en hel gård av en viss besättningstyp. Således blir den beräknade zinkhalten i stallgödseln densamma per sexualcykel som för en hel grisdödsel.

De inflöden av zink som det tas hänsyn till i beräkningarna är de från foder och halm. Andra eventuella inflöden som rengöringsmedel och nötning av galvaniserat stål tas inte upp eftersom det inte är möjligt att göra en uppskattning av hur mycket zink som kom ifrån dessa källor. Utflödena är i form av färdiga smågrisar eller slaktsvin samt stallgödsel.

### 3.1.1 Inflöden av zink via foder

Utifrån zinkhalten i foder och foderkonsumtionen beräknas den totala mängden zink som konsumeras via foder i de olika besättningstyperna.

Mängden lufttorrt foder som djurtyperna (sugga, smågris, slaktsvin) konsumerar beräknas med ledning av data från PigWin (produktionsuppföljningsverktyg) och redovisas i tabell 3 (Holmgren och Mattsson pers. medd., 2012). Dagens foder har en zinkhalt på ca 100 mg Zn/kg foder (Göransson pers. medd., 2012) där det antas att den naturliga zinkhalten är 30 mg Zn/kg och tillsatsen blir 70 mg zink i form av zinkoxid. Från tidig ålder fram till 2 veckor efter avvänjning kan foder med högre dos zink (2000 mg Zn/kg foder) förskrivas av veterinär (SVS, 2011).

**Tabell 3.** Foder och halmförbrukning per sexualcykel i de olika besättningstyperna. Beräknat från PigWin och Albertsson et al. (2001)

Kategori	Dagar	Foder (kg)	Halm (kg)
<b><i>Integrerad besättning</i></b>			
Sinsugga	121	373	169
Digivande sugga	34	238	34
Smågris avvänjningsperioden (11)*	14	77	14
Smågris tillväxtperioden (11)*	32	418	32
Slaktsvin t.o.m. leverans (10,5)*	97	2 588	97
<b><i>Specialiserad besättning</i></b>			
Sinsugga	121	373	169
Digivande sugga	34	238	34
Smågris avvänjningsperioden (11)*	14	77	14
Smågris tillväxtperioden (11)*	32	418	32
<b><i>Satellitbesättning</i></b>			
Sinsugga <sup>1</sup>	21	60	21
Digivande sugga	34	238	34
Smågris avvänjningsperioden (11)*	14	77	14
Smågris tillväxtperioden (11)*	32	418	32

\*Siffrorna i parantes är antalet individer av den djurtypen.

<sup>1</sup>I satellitbesättningen anländer suggan 3 veckor innan grisning och antogs konsumera 60 kg foder under denna period (Holmgren och Mattsson pers. medd., 2012).

### 3.1.2 Inflöde av zink via halm

I besättningstyperna antas halm vara det enda strömedel som används. Data från Albertsson et al. (2001) som anger halmförbrukning per boxtyp och dygn används i beräkningarna. I integrerade besättningar antas enhetsboxar användas där suggan grisar och flyttas vid

avvänjningen av smågrisarna. Smågrisarna går kvar i enhetsboxen tills de flyttas till slaktsvinsstallet där de går i en ströad slaktsvinsbox. Sinsuggorna hålls på en djupströbädd i lösdrift. Samma boxtyper antas användas för suggor och smågrisar i de specialiserade besättningarna. I satellitbesättningarna hålls grisarna under hela uppfödningen i enhetsboxar. Den totala halmförbrukningen redovisas i tabell 3. Zinkhalten för halm antas vara 19 mg Zn/kg (Sauvant et al., 2004).

### 3.1.3 Utflöde av zink via djur

Zink i de djur som lämnar besättningstyperna kan vara i form av färdiga slaktsvin och smågrisar men också döda djur och suggor som slås ut ur produktionen. Här antas att enbart levande slaktsvin och smågrisar förs bort (döda djur samt utslagssuggor försummas i beräkningen). En smågris vid 30 kg vikt innehåller ca 400 mg zink och ett slaktsvin vid 120 kg vikt innehåller ca 1500 mg zink (Mahan och Shields, 1998).

### 3.1.4 Zink i stallgödsel

Zinkmängden i stallgödseln bestäms efter följande samband:

$$[\text{Total mängd zink i stallgödsel}] = [\text{Zink foder} + \text{Zink halm}] - [\text{Zink djur ut}]$$

För att bestämma zinkhalten i stallgödseln beräknas stallgödselproduktionen per sexualcykel. Utöver träck och urin bidrar även halm, spillvatten och rengöringsvatten till hur stor mängd stallgödsel som produceras. Spillvattnet som blir när grisarna dricker vid torrutfodring och de mängder vatten som krävs för rengöring för de boxtyper som antagits (se avsnitt 3.1.2) tas från Albertsson et al. (2001). Hänsyn tas även till att grisarna producerar en del extra urin och träck p.g.a. att de äter en del av halmen som används som strö. I besättningstyperna antas det att stallgödseln hanteras som flytgödsel, undantaget för sinsuggorna i de integrerade och de specialiserade besättningarna. Sinsuggorna går på en djupströbädd och producerar således djupströgödsel. Den totala flytgödselproduktionen och djupströgödselproduktionen bestäms med ekvationer (se 1-5 nedan) från Albertsson et al. (2001). För djupströgödseln blir det omsättningsförluster vid lagring. Förlusterna antas uppgå till 40 % av gödselmängden. Gödselproduktionen redovisas i tabell 4 och 5.

1)  $[\text{Träckmängd}] = [\text{Torrfofodermängden}] \times [0,55]$

2)  $[\text{Urinmängd}] = [\text{Torrfofodermängden}] \times [1,6]$

3)  $[\text{Urinmängd p.g.a. halmkonsumtion}] = [\text{Halmmängd konsumerad}] \times [4]$

4)  $[\text{Summa flytgödselmängd}] = \text{mängd}[\text{träck} + \text{urin} + \text{ströåtgång} + \text{urin p.g.a. halmkonsumtion} + \text{spillvatten} + \text{rengöringsvatten}]$

5)  $[\text{Summa lagrad djupströgödsel}] = \text{mängd}[\text{Träck} + \text{urin} + \text{spillvatten} + \text{rengöringsvatten} + \text{urin p.g.a. halmkonsumtion} + \text{strösmängd}] \times 0,60$

**Tabell 4.** Beräknad flytgödselproduktion per sexualcykel för olika besättningstyper. Beräkningarna har skett med ekvationer från Albertsson et al. (2001).

Kategori	Träck (kg)	Urin (kg)	Vatten (l)	Extra urin (kg)	Strömängd (kg)	Flytgödsel (kg)
<i>Integrerad besättning</i>						
Digivande sugga	131	381	48	41	34	634
Smågris avvänjningsperioden	42	123	69	17	14	265
Smågris tillväxtperioden	230	669	507	38	32	1 476
Slaktsvin t.o.m. leverans	1 423	4 141	2 211	285	71	8 132
<i>Specialiserad besättning</i>						
Digivande sugga	131	381	48	41	34	634
Smågris avvänjningsperioden	42	123	69	17	14	265
Smågris tillväxtperioden	230	669	507	38	32	1 476
<i>Satellitbesättning</i>						
Sinsugga	33	96	6	25	21	182
Digivande sugga	131	381	48	41	34	634
Smågris avvänjningsperioden	42	123	69	17	14	265
Smågris tillväxtperioden	230	669	507	38	32	1 476

**Tabell 5.** Beräknad djupströgödselproduktion per sexualcykel i integrerade eller specialiserade besättningar. Beräkningarna har skett med ekvationer från Albertsson et al. (2001).

Kategori	Träck (kg)	Urin (kg)	Vatten (l)	Extra urin (kg)	Strömängd (kg)	Totalt (kg)	Lagrad (kg)
Sinsugga	205	597	106	242	169	1 320	792

### 3.2 Indata fältbalans

Fältbalansen upprättas utifrån vad som kan anses vara rimligt för grisgårdar i Västra Götaland. Beräkningarna utgår ifrån Västra Götaland eftersom markprover tagits där för att bestämma zinkhalten i marken (se avsnitt 3.4). I beräkningarna antas att inflödena av zink sker via nedfall från luften, stallgödsel och handelsgödsel. Utflödena sker via skördebortförsel och utlakning. Gödsling med avloppsslam och kompost samt kalkning ingår inte i beräkningarna.

#### 3.2.1 Nedfall via luften

Zinkhalt i nederbörden som används i beräkningarna har mätts i Stenungsund i Västra Götaland (IVL, 2011). Tillsammans med nederbördsdata över områden beräknas

zinkdepositionen (se tabell 6). I fältbalansen används ett medelvärde på 10 års mätningar från 2000 till 2009.

**Tabell 6.** Zinkdeposition via nederbörd i Västra Götaland. Zinktillförseln per hektar och år har beräknats med data från IVL (2011).

År	Zinkhalt ( $\mu\text{g/l}$ )	Nederbörd ( $\text{l/m}^2$ )	Total zink ( $\text{g/ha}$ )
2000	13	1 042	136
2001	11,6	676	78
2002	4,6	994	46
2003	4,9	769	38
2004	4,5	1 091	49
2005	6,6	728	48
2006	5	1 377	69
2007	4,4	1 448	64
2008	3,2	944	30
2009	4,8	807	39
Medelvärde	6,3	988	60

### 3.2.2 Stallgödsel

För att bestämma den årliga tillförseln av zink med stallgödseln behövs zinkhalten i stallgödsel och den mängd stallgödsel som sprids på åkermarken från de olika besättningstyperna.

Stallgödsel får under en femårsperiod inte tillföras i större mängd än vad som motsvarar 22 kg totalfosfor per hektar spridningsareal och år räknat som ett genomsnitt för hela spridningsarealen under perioden (Albertsson, 2011). Denna begränsning reglerar hur stor djurtätheten kan bli på grisgårdarna. I fältbalansen antas det att grisproducenterna har maximal djurtäthet och sprider 22 kg fosfor/ha och år.

För att bestämma mängden stallgödsel som sprids beräknas gödselns innehåll av fosfor. Fosforinnehållet kan tas fram på två sätt (Strandmark, 2011). Det första är att en stallbalans upprättas där inkommande fosfor och utgående fosfor beräknas. Det andra alternativet är att utnyttja schablonvärden för fosforinnehåll i stallgödseln (se bilaga 9.3). I beräkningarna används det första alternativet.

I fosforbalansen är det foder som bidrar med ett inflöde. Utflödet av fosfor från stallet sker genom stallgödsel och att djur lämnar produktionen (sålda produkter, döda djur och utslagsdjur). Genom att beräkna inflödet av fosfor och utflödet av fosfor med djur bestäms fosformängden som hamnar i stallgödseln. Beräkningarna för fosforbalansen görs per sexualcykel. Då gödseln från sinsuggor i integrerade och specialiserade besättningar hanteras separat från resterande gödsel beräknas fosforbalansen separat för sinsuggorna. Enhetsfoder antas användas för smågrisar (smågris triumf), slaktsvin (opti bonus) och suggor (suggfoder

total). Fosforhalten i de olika fodermedlen hämtas ifrån produktlistan (SJV, 2010). Strömedlets bidrag till fosfor försummas.

När det gäller djurflödena antas det att inga djur köps in i besättningstyperna men att djur lämnar produktionen. De integrerade besättningarna skickar 10,5 färdiga slaktsvin per sexualcykel. De andra två besättningstyperna levererar 11 smågrisar per sexualcykel. Bortförseeln av fosfor med utslagna suggor och döda djur försummas i beräkningen. Fosforinnehållet per kg slaktsvin är 0,0055 kg/kg gris och för smågrisen är fosforinnehållet 0,0054 kg/kg gris (SJV, 2010). Ett slaktsvin väger 119 kg vid slakt och en smågris 31,5 kg vid leverans (PigWin, 2012ab). Fosforbalansen redovisas i tabell 7. Tillsammans med stallgödselproduktionen per sexualcykel (se tabell 4 och 5) bestäms sedan fosforhalten i stallgödseln.

**Tabell 7.** Beräknade fosforflöden per sexualcykel för de olika besättningstyperna. Med summa avses den fosformängd som hamnar i stallgödseln.

Kategori	Foder (kg)	Djur (kg)	Summa (kg)
Integrerad besättning	15	-7	8
Specialiserad besättning	3,9	-1,9	2
Satellitbesättning	4,2	-1,9	2,3
Sinsugga*	1,8	0	1,8

\*I integrerade och specialiserade besättningar hanteras gödsel från sinsuggorna separat från gödsel från resterande djur. Fosforbalansen har därför beräknas separat för sinsuggorna.

Utifrån fosforhalten i stallgödseln bestäms sedan hur stor den maximala stallgödselgivan per hektar och år (tabell 8) kan bli enligt gällande regler för fosforspridning.

**Tabell 8.** Beräknad maximal stallgödselgiva (ton våtvikt per hektar och år) med hänsyn till gällande lagstiftning som säger att maximalt 22 kg fosfor får tillföras åkermarken per år. Givans storlek har beräknats ifrån fosforbalansberäkningar.

Stallgödseltyp	Maximal giva
Flytgödsel integrerad besättning	29
Flytgödsel specialiserad besättning	26
Flytgödsel satellit	25
Djupströgödsel integrerad- och specialiserad besättning	10

För att beräkna en genomsnittlig zinktillförsel i fältbalansen måste hänsyn tas till att både flytgödsel och djupströgödsel produceras i integrerade- och specialiserade besättningar. Vissa år kommer djupströgödsel spridas på ett fält medan andra år används flytgödsel på det aktuella fältet. Hur mycket zink som tillförs med de olika gödselslagen skiljer sig då de har olika zink- och fosforhalt.

I ett första steg beräknas hur stor åkerareal som krävs till den producerade djupströgödseln och flytgödseln när stallgödselgivan motsvarar 22 kg fosfor/ha och år. Utifrån detta bestäms andelen åkermark som djupströgödsel respektive flytgödsel används på (tabell 9). När andelen åkermark som djupströgödsel respektive flytgödsel används på är känd kan gödselanvändningen skalas upp till gårdsnivå eftersom proportionen mellan producerad djupströgödsel och flytgödsel blir densamma på gårdsnivå som per sexualcykel.

**Tabell 9.** Areal som krävs för spridning av producerad stallgödsel samt andelen av arealen som djupströgödsel respektive flytgödsel sprids på. Beräknat per sexualcykel.

Kategori	Gödselmängd (kg)	Areal som krävs (ha)	Andel av arealen
<i>Integrerad produktion</i>			
Djupströgödsel	792	0,08	0,18
Flytgödsel	10 507	0,37	0,82
<b>Summa:</b>	11 299	0,45	1
<i>Specialiserad produktion</i>			
Djupströgödsel	792	0,08	0,47
Flytgödsel	2 375	0,09	0,53
<b>Summa</b>	3 167	0,17	1
<i>Satellit produktion</i>			
Djupströgödsel	0	0	0
Flytgödsel	2 557	0,10	1
<b>Summa</b>	2 557	0,10	1

I det andra steget antas det att en grsigård har 100 ha åkermark där djurantalet är maximerat mot reglerna för maximal fosfortillförsel med stallgödsel. Andelen av åkermarken som gödglas med djupströgödsel respektive flytgödsel antas vara densamma som per sexualcykel (tabell 9). Med detta och den beräknade maximala stallgödselgivan (tabell 8) bestäms den totala mängden djupströgödsel och flytgödsel som används på gårdens 100 ha. Därefter bestäms en snittgiva per hektar av djupströgödsel och flytgödsel genom att dividera total använd gödselmängd med gårdens areal (tabell 10).

**Tabell 10.** Stallgödselgiva av flyt- och djupströgödsel på åkermark för olika besättningstyper. Snittgivan är den genomsnittliga flytgödselmängd och djupströgödselmängd som tillsammans tillförs till en hektar åkermark.

Kategori	Areal (ha)	Total mängd (ton)	Snittgiva per hektar (ton)
<i>Integrerad besättning</i>			
Djupströgödsel	18	175	1,7
Flytgödsel	82	2 353	23,5
<i>Specialiserad besättning</i>			
Djupströgödsel	47	456	4,6
Flytgödsel	53	1 389	13,8
<i>Satellitbesättning</i>			
Djupströgödsel	-	-	-
Flytgödsel	100	2 460	24,6

Utifrån beräknad zinkhalt (från stallbalansen) och beräknad snittgiva av stallgödsel per hektar åkermark bestäms sedan den årliga tillförseln av zink med stallgödsel för de olika besättningarna.

### 3.2.3 Handelsgödsel

Eftersom det finns stallgödsel hos besättningstyperna och att det antas att stallgödselgivan storlek motsvarar 22 kg fosfor/ha och år är mängden tillfört handelsgödsel ett komplement för att nå gödslingsrekommendationerna. För att kunna avgöra ett eventuellt handelsgödselbehov antas växtföljden havre-vårkorn-höstraps-höstvete och att åkermarken inte har lägre kalium och fosforklass än III. Gödslingsbehoven för grödorna samt kväve och kaliumeffekten av stallgödseln bestäms utifrån Albertsson (2011). Kalium och fosforbehovet uppfylls med stallgödseln men det finns ett behov av kompletterande kvävegivor via handelsgödsel. Kvävegödseln antas ha en zinkhalt på 5 mg Zn/kg handelsgödselmedel baserat på uppgifter från Eckel et al. (2005).

Zinkbidraget till åkermarken via kvävegödselmedel blev mycket litet, ca ett gram Zn/ha för de olika besättningarna. Av den anledningen försumrades handelsgödselns bidrag med zink i fältbalansen (se bilaga 9.2).

### 3.2.4 Skördebortförsl

Den skördebortförsl av zink som sker på ett fält är kärnskörden av olika grödor samt skördad halm. Det skördade materialet kan antingen användas på gården eller säljas.

Beräkningarna görs efter antagande om att 100 ha odlas med havre-vårkorn-höstraps-höstvete fördelat med 25 ha vardera. Skördenivåerna som antas för grödorna är medelskördar för de senaste fem åren i Västra Götaland (SCB, 2012a). Zinkhalten för de olika grödorna tas ifrån Sauvant et al. (2004). I fältbalansen används ett medelvärde för växtföljden på zinkbortförsl (se tabell 11).



**Tabell 11.** Beräknad zinkbortförsel per gröda, kärnskörd. Beräkningarna har skett med data från Sauvant et al. (2004) och SCB (2012).

	Zinkinnehåll mg/kg ts	Skördenivå ton/ha	Skördebortförsel g/ha
<b>Vete</b>	27	5,7	154
<b>Havre</b>	23	4,3	99
<b>Korn</b>	30	4,5	135
<b>Rapsfrö</b>	40	2,8	112
<b>Medel</b>	-	-	125

Den halm som skördas antas enbart vara till för att täcka gårdens egna behov av strö. Ingen halm skördas för försäljning eller eldning. Hur stort behovet av halm är för de olika besättningstyperna per hektar bestäms genom att beräkna antalet möjliga sexualcykler per hektar (se tabell 12). Antalet sexualcykler bestäms mot den producerade stallgödselmängden per sexualcykel och mot snittgivan per hektar av djupströgödsel och flytgödsel (se ekvation 6 och 7). Med andra ord är det stallgödselproduktionen per sexualcykel och dess fosforhalt som avgör hur många cykler som det kan bli per hektar om stallgödseln ska kunna spridas lagligt (22 kg fosfor per hektar och år).

- 6) [Antalet möjliga sexualcykler per hektar åker] = [Beräknad djupströgödselgiva på en hektar relaterat till stallgödselproduktion och maximal giva]/[Djupströgödselproduktion per sexualcykel]
- 7) [Antalet möjliga sexualcykler per hektar åker] = [Beräknad flytgödselgiva på en hektar relaterat till stallgödselproduktion och maximal giva]/[Flytgödselproduktion per sexualcykel]

**Tabell 12.** Beräknade antal sexualcykler per hektar och halmförbrukning per sexualcykel. Beräkningen av antal sexualcykler görs mot att maximalt 22 kg fosfor/ha och år får tillföras med stallgödseln.

Kategori	Cyklar (antal/ha)	Halmförbrukning per sexualcykel (kg)
<b>Integrerad besättning</b>	2,2	321
<b>Specialiserad besättning</b>	5,8	249
<b>Satellitbesättning</b>	9,6	101

Halmbehovet bestäms därefter genom att multiplicera halmförbrukningen per sexualcykel med antalet tillåtna sexualcykler per hektar. Det antas att halmen skördas från stråsäden och den totala åkerarealen antas precis som tidigare vara 100 ha. Med en halmskörd på 4 ton/ha för stråsäden beräknas hur mycket halm som behöver skördas för att täcka behovet till hela gården. Halmen antas innehålla 19 mg Zn per kg (Sauvant et al., 2004). Eftersom halm skördas på bara en del av arealen beräknas ett medelvärde för växtföljden gällande zinkbortförsel per hektar (se tabell 13).

**Tabell 13.** Beräknad halmförbrukning, areal som behövs för att möta halmbehovet samt genomsnittlig zinkbortförsel. Data för en 100 ha gård för de olika besättningstyperna.

Kategori	Halmförbrukning (ton)	Areal halmskörd (ha)	Genomsnittlig zinkbortförsel (g Zn/ha)
Integrerad besättning	72	18	14
Specialiserad besättning	145	36	28
Satellitbesättning	97	24	19

### 3.2.5 Utlakning

För utlakning av zink är det få studier gjorda. Zinkutlakning mellan 16 till 100 g/ha har noterats i olika studier (Bengtsson et al., 2003; Bengtsson et al., 2006; Boten et al., 2008). Utlakningen sätts i fältbalansen till 24 g Zn/ha och år för de olika besättningarna vilket är ett medelvärde på zinkutlakning i Öjebyn norra Sverige (Bengtsson et al., 2006). Att utlakningen tas ifrån Bengtsson et al. (2006) är för att den studien är den mest omfattande kring zinkutlakning under svenska förhållanden som hittades vid litteraturgenomgången.

### **3.3 Zinkackumulation**

För att se hur årstillförseln av zink kan påverka zinkhalten i åkermarken beräknas hur lång tid det tar att öka markens innehåll av zink från dess ursprungliga innehåll till en halt på 100 mg Zn/kg ts jord uppnås (gränsvärde för avloppsslamanvändning). Den ursprungliga zinkhalten i åkermarken antas vara 50 mg/kg ts jord vilket är ett medelvärde för zinkhalten i åkermarken för Västra Götaland (Eriksson pers. medd., 2012). Med jordens skrymdensitet och ett markdjup beräknas det ursprungliga innehållet av zink. Jordens skrymdensitet (volymvikt) antas vara 1,4 kg/liter jord. Höjningen av zinkhalten sker mestadels i de översta 20 cm (plöjningsdjup) och därför används det markdjupet i beräkningarna. Att zinkalthöjningen mestadels sker där beror på att tillförd zink blandas in effektivt i de översta 20 cm till följd av jordbearbetning medan zinktilförseln till djupare skikt är liten.

Den årliga zinktilförseln tas ifrån zinkflödena i fältbalansberäkningarna. Flödena antas vara statiska vid beräkningarna av zinkackumulation d.v.s. att de är desamma över tid oberoende av förändringen av zinkhalten i marken (Moolenaar, 1999). I en dynamisk modell är flödena kopplade till förändringarna av zinkhalten i marken. Den statiska modellen ger dock tillräckligt bra skattning av ökningstakten i detta sammanhang.

### **3.4 Markundersökning**

Markprovtagningen genomfördes för att se om zinkhalten i åkermarken i verkligheten har förändrats till följd av stallgödselspridning på det sätt som beräkningarna anger. Provtagningen skedde 8-9 maj 2012 i Vara, Kvänum, Götene och Edsvära i Västra Götaland. Provtagningen skedde där främst av praktiska skäl då kontakter och kunskap om griségårdar

fanns i området (Svenska Djurhälsovården AB). En annan anledning var att zinkhalten enligt markkartering utförd av Eriksson et al. (2010) visat låga naturliga halter av zink samt en relativt liten variation i området. Liten variation och låg zinkhalt skapar gynnsammare förutsättningar för möjligheterna att se eventuella haltförändringar till följd av stallgödselspridning.

Grisbesättningarna och fält för provtagning valdes av Nils Holmgren och Monika Löfstedt (Svenska Djurhälsovården AB). Kriterierna var att grisbesättningarna använder avvänjningszink och att det intill grisgårdarnas åkrar fanns åkermark som inte fått stallgödsel som kunde användas som kontroll. Markprovtagning skedde på gårdar med integrerad produktion, specialiserad produktion och satellitproduktion, två gårdar per produktionsform. Totalt togs jordprover från 6 grisgårdar. Kontrollfälten brukades av växtodlingsgårdar där varken stallgödsel eller avloppsslam har tillförts åkermarken inom de senaste årtiondena.

Markprover togs med markkarteringsborr i matjord (0-20 cm djup) och alv (40-60 cm djup). Provtagningen skedde där fälten för grisgårdarna låg i direkt anslutning eller enbart avgränsades med ett dike till kontrollfälten. Tre provtagningspunkter med ca 50 meters mellanrum på stallgödslade fält och tre punkter mitt emot i kontroll. Provtagningarna gjordes på så vis att man hela tiden var några meter (5-10 m) från fältgränsen mellan stallgödslat fält och kontrollen. Matjorden togs med fem borrhstick i varje provtagningspunkt, ett centralstick och fyra stick ca fyra meter bort. I ett av kontrollfälten hade stallgödsling genomförts för första gången strax före provtagningen (kontroll till F Satellit). Men den gick ändå att använda som kontroll då de översta centimetrarna av jorden skrapades bort så att provtagningen skedde i opåverkad jord. Av alv togs bara ett borrhstick i centralsticket i varje provtagningspunkt. Sticken slogs ihop till ett samlingsprov per gödslat fält respektive kontrollfält.

Jorden från provtagningen torkades i ett torkskåp vid 30° C tills viktminskningen upphört. Därefter analyserades zinkhalten i jordproven av växtnäringslabb vid SLU. Vid analysen skedde uppslutning med 7 M salpetersyra (HNO<sub>3</sub>) enligt svensk standard **SS 02 83 11** och zinkhalten bestämdes med ICP-AES.

Den statistiska bearbetningen av markdata genomfördes i Minitab 16. Där användes t-test för matchande stickprov (paired t-test). Först kördes en statistisk analys på skillnaden i zinkhalt som uppmätts i matjorden mellan gödslat fält och kontrollfält. Därefter gjordes samma statistiska analys igen men med skillnaden att zinkhalten i matjorden justerades efter skillnaden i alvens zinkhalt mellan gödslat fält och kontrollfält (se ekvation 8). Justeringen gjordes för att ta hänsyn till eventuella skillnader mellan grisgårdarna och deras kontroller i hur mycket zink som fanns i marken från början. Alvens zinkhalt är oberoende av mänsklig påverkan och speglar därmed den naturliga zinkhalt som fanns i marken från början.

**8)** [Justerad zinkhalt matjord stallgödslat fält] = ([Zinkhalt alv kontroll] - [Zinkhalt alv Stallgödslat fält]) + [Zinkhalt matjord stallgödslat fält]

## 4. Resultat

### 4.1 Stallbalansberäkningar

I tabell 14 framgår det tydligt att för de besättningar som alltid använder avväjningszink är avväjningsfoder en stor zinkkälla medan halm bidrar med ytterst lite zink. I den integrerade besättningen är dock normalfodret den största zinkkällan och det är dessutom den besättning som har störst totalt inflöde av zink. I de två andra besättningarna är avväjningsfodret den största källan. För de besättningar som aldrig använder avväjningszink är normalfodret den största källan.

**Tabell 14.** Beräknade inflöden och utflöden av zink per sexualcykel för olika besättningar som använder zink i högdos. Med summa avses den zinkmängd som slutligen hamnar i stallgödseln.

Kategori	<sup>1</sup> Normalfoder (g)	<sup>2</sup> Avväjningsfoder (g)	Halm (g)	Djur (g)	Summa (g)
<i>Integrerad besättning</i>					
Flytgödsel	324,4	154,0	2,9	-15,8	465,5
Djupströgödsel	37,3	0	3,2	0	40,5
<i>Specialiserad besättning</i>					
Flytgödsel	65,6	154	1,5	-4,4	216,7
Djupströgödsel	37,3	0	3,2	0	40,5
<i>Satellitbesättning</i>					
Flytgödsel	71,6	154	1,9	-4,4	223,1

<sup>1</sup> Med normalfoder avses foder som innehåller 100 mg Zn/kg foder.

<sup>2</sup> Med avväjningsfoder avses foder som innehåller 2000 mg Zn/kg foder och som enbart används under avväjningsperioden.

Den totala stallgödselproduktionen är störst för de integrerade besättningarna (tabell 15) och där utgör fastgödseln en mindre del av totalproduktionen. I de specialiserade besättningarna utgör fastgödselmängden omkring en fjärdedel av totalproduktionen.

**Tabell 15.** Beräknad producerad flytgödselmängd och djupströgödselmängd per sexualcykel för olika besättningstyper.

Besättningstyp	Flytgödsel (kg)	Djupströgödsel (kg)
Integrerad	10 507	792
Specialiserad	2 375	792
Satellit	2 557	-

Zinkhalten är högre i flytgödseln för samtliga besättningar där avväjningszink används (tabell 16) jämfört med de besättningar som inte använder zink i högdos (tabell 17). Den specialiserade besättningen och satellitbesättningen har nästan tre gånger högre zinkhalter i flytgödseln när avväjningszink används. Mellan besättningarna som använder zink i högdos

är det stor skillnad i zinkhalt mellan den integrerade besättningen och de andra två besättningarna (tabell 16).

**Tabell 16 och 17.** Beräknad zinkhalt i grisgödsel för olika besättningar. I besättningarna i den vänstra tabellen (16) används zink i högdos alltid vid smågrisavvänjningen. I besättningarna i den högra tabellen (17) används aldrig zink i högdos.

Kategori	Zinkhalt (mg/kg)	Zinkhalt (mg/kg ts)	Kategori	Zinkhalt (mg/kg)	Zinkhalt (mg/kg ts)
<i>Integrerad besättning</i>			<i>Integrerad besättning</i>		
Flytgödsel	44	656	Flytgödsel	30	450
Djupströgödsel	51	-	Djupströgödsel	51	-
<i>Specialiserad besättning</i>			<i>Specialiserad besättning</i>		
Flytgödsel	91	1 118	Flytgödsel	30	363
Djupströgödsel	51	-	Djupströgödsel	51	-
<i>Satellitbesättning</i>			<i>Satellitbesättning</i>		
Flytgödsel	87	1 020	Flytgödsel	30	351

- Värdet för zinkhalt i torrsubstans saknas för djupströgödseln p.g.a. att man ej fann någon ekvation för torrsubstansberäkning för djupströgödsel.

## 4.2 Fältbalansberäkningar

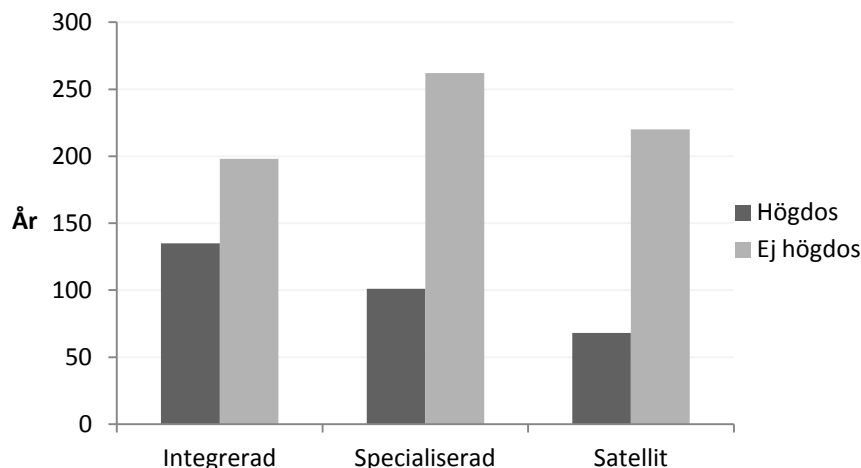
Grisstallgödseln ger ett årligt tillskott av zink som vida överskrider bortförslin i samtliga besättningstyper (tabell 18 och 19). Överskottet i fältbalansen är större för samtliga besättningar som använder avvänjningszink jämfört med de besättningar som aldrig använder avvänjningszink. Skillnaden är speciellt stor för satellitbesättningarna, satellitbesättningen som använder avvänjningszink har ca 1400 g större zinköverkott per hektar.

**Tabell 18 och 19.** Beräknade fältbalanser (g/ha och år) för olika besättningar. Den vänstra tabellen (tabell 18) är fältbalanser för besättningar som använder zinkoxid i högdos vid smågrisavvänjningen. Den högra tabellen (tabell 19) är fältbalanser för besättningar som aldrig använder zinkoxid i högdos.

Kategori	Integrerad (g/ha)	Specialiserad (g/ha)	Satellit (g/ha)	Kategori	Integrerad (g/ha)	Specialiserad (g/ha)	Satellit (g/ha)
<i>Inflöden</i>				<i>Inflöden</i>			
Deposition	+60	+60	+60	Deposition	+60	+60	+60
Stallgödsel	+1 132	+1 495	+2 151	Stallgödsel	+805	+646	+739
<i>Utflöden</i>				<i>Utflöden</i>			
Skördebortförslin	-139	-153	-144	Skördebortförslin	-139	-153	-144
Utlakning	-24	-24	-24	Utlakning	-24	-24	-24
<b>Balans</b>	<b>+1 029</b>	<b>+1 379</b>	<b>+2 043</b>	<b>Balans</b>	<b>+702</b>	<b>+529</b>	<b>+631</b>

### 4.3 Zinkackumulationstakt

Att höja markens zinkhalt från 50 mg Zn/kg ts till 100 mg Zn/kg ts går fortast för de besättningar som alltid använder zink i högdos under smågrisavvänjningen, för satellitbesättningen tar det endast 68 år (se figur 1.) För samma besättningstyp där avvänjningszink aldrig används tar motsvarande höjning 220 år.



**Figur 1.** Beräknat antal år tills åkermarkens zinkhalt ökat från 50 mg till 100 mg Zn/kg jord för olika besättningstyper som använder eller inte använder zink i högdos. Högdos innebär att 2000 mg Zn/kg foder används vid smågrisavvänjningen.

### 4.4 Markundersökning

Markprovtagning genomfördes på åkermark tillhörande grisgårdar som alla använder zink i högdos men hur många år användningen har pågått skiljer sig mellan gårdarna (tabell 20). En av gårdarna hade bara använt zink i högdos under 6 års tid.

**Tabell 20.** Antal år som de olika grisgårdarna har använt zinkoxid i högdos vid smågrisavvänjningen.

Besättningstyp	Antal år
A Integrerad	14
B Integrerad	18
C Specialiserad	6
D Specialiserad	10
E Satellit	9
F Satellit	15
Genomsnitt	12

I de flesta fallen var de uppmätta zinkhalterna i matjorden högre för grisgårdarna men samtidigt skiljde sig också alvens zinkhalt mellan grisgårdarna och kontrollgårdarna (tabell 21). I teorin ska alvens halt vara opåverkad av mänsklig aktivitet och motsvara provtagningsplatsernas bakgrundshalt av zink. Det var en signifikant ( $p$ -värde = 0,048) högre zinkhalt i matjorden för grisgårdarna jämfört med kontrollerna.

**Tabell 21.** Medelvärde och standardavvikelse för uppmätta zinkhalter i matjorden för tre prover (mgZn/kg jord) från olika grisgårdar respektive kontroller (växtodlingsgårdar) samt motsvarande uppmätta zinkhalter i alven (ett prov).

Besättning	Matjord grisgård	Matjord kontroll	Alv grisgård	Alv kontroll
<b>A Integrerad</b>	63,0 ± 17	65,4 ± 5,7	70,4	76,8
<b>B Integrerad</b>	78,0 ± 6,3	74,9 ± 2,5	75,2	77,2
<b>C Specialiserad</b>	38,5 ± 1,8	37,3 ± 4,2	63,7	52,8
<b>D Specialiserad</b>	63,2 ± 1,5	57,7 ± 1,9	67,5	74,8
<b>E Satellit</b>	48,6 ± 0,7	45,6 ± 1,5	74,8	69,0
<b>F Satellit</b>	50,2 ± 3,2	39,3 ± 1,4	33,6	30,3
<b>Genomsnitt</b>	56,9 ± 14,6	53,4 ± 14,4	64,2 ± 15,6	63,5 ± 18,7

När matjordens zinkhalt justerades mot alvens zinkhalt (tabell 22) blev det betydande skillnader mot de ojusterade zinkhalterna (tabell 21). Som exempel blev zinkhalten högre i matjorden för grisbesättning A jämfört med kontrollen från att varit lägre i grisbesättningen jämfört med kontrollen innan justeringen. Omvänt blev det för besättning C och E. För de justerade värdena fanns det inte någon signifikant skillnad i zinkhalten i matjorden mellan grisgårdarna och kontrollerna (p-värde = 0,215).

**Tabell 22.** Zinkhalten (mg Zn/kg jord) i matjorden justerad med alvens zinkhalt.

Besättningstyp	Matjord grisgård	Matjord kontroll
<b>A Integrerad</b>	69,5	65,4
<b>B Integrerad</b>	80,0	74,9
<b>C Specialiserad</b>	27,6	37,3
<b>D Specialiserad</b>	70,5	57,7
<b>E Satellit</b>	42,8	45,6
<b>F Satellit</b>	46,9	39,3
<b>Genomsnitt</b>	56,2	53,4

## 5. Diskussion

### 5.1 Stallbalansberäkningar

Vid jämförelsen av besättningarna som använder zink i högdos och besättningarna som inte gör det framgår det tydligt att avväjningszink har stor betydelse för flytgödselns zinkhalt. Speciellt stora är skillnaderna för de specialiserade besättningarna och satellitbesättningarna där zinkhalten i flytgödseln är betydligt högre när avväjningszink används. Gällande mängden zink som hamnar i stallgödseln för de besättningar som använder högdos har den integrerade besättningen högst totalt inflöde till stallet men har trots det lägst zinkhalt i flytgödseln av besättningarna. Detta förklaras av att det, till skillnad från de andra besättningarna, finns slaktsvin i de integrerade besättningarna. Slaktsvinen producerar mycket mer gödsel än smågrisarna vilket i slutändan ger en spädningseffekt på den totala zinkmängden som hamnar i stallgödseln. De beräknade zinkhalterna i denna studie är jämförbara med vad som rapportrats av andra studier. Bach et al. (2002) anger i sin litteraturstudie att zinkhalten i grigödsel kunde vara mellan 500-2000 mg Zn/kg ts och Steineck et al. (1999) angav en zinkhalt på 635 mg Zn/kg ts för grigödsel.

Det finns en möjlighet att zinkhalten i stallgödseln för verkliga besättningar kan vara något högre än vad beräkningarna visar här. I andra studier har de mätta utflödena varit större än inflödena till stallet vilket kan bero på att någon källa förbisetts eller att mätningarna av inflödena varit otillräckliga för att spegla inflödenas variation (Eckel et al., 2005; Gustafson et al., 2007). Som exempel anges att galvaiserat stål kan bidra med zink vilket ingen hänsyn tagits till i denna studie. En annan sak som skulle kunna göra zinkhalten högre är att det ”vanliga” fodret innehåller mer än 100 mg Zn/kg. Det är dock inte troligt att halten avviker mer än 10 mg/kg foder enligt kontrollberäkningar (se bilaga 9.1).

### 5.2 Fältbalansberäkningar

Stallgödseln är enligt beräkningarna den viktigaste källan av zink till åkermarken för samtliga besättningstyper. Speciellt de som använder zink i högdos har stor tillförsel. Intressant är att även för de besättningar där zink i högdos inte används överstiger den årliga tillförseln via stallgödseln 600 g Zn/ha och år vilket är den maximalt tillåtna zinktilleförseln som för närvarande gäller för avloppsslam (Albertsson, 2011). Den besättningstyp som har högst tillförsel via stallgödseln är satellitbesättningen som använder zink i högdos trots att zinkhalten är högre i flytgödseln för den specialiserade besättningen. Anledningen till detta är att hos den specialiserade besättningen produceras både djupströgödsel och flytgödsel där zink- och fosforhalten skiljer sig betydligt. Hos satellitbesättningen produceras bara flytgödsel. Eftersom det är troligt att lantbrukaren skiftar vilken areal som får djupströgödsel respektive flytgödsel mellan åren baseras den beräknade zinktilleförseln på en snittgiva per hektar. Det är detta som gör att satellitbesättningen har högst årlig tillförsel av zink till åkermarken trots att den specialiserade besättningen har flytgödsel med högre zinkhalt.

Vid beräkningarna blir det stor skillnad på stallgödselgivorna beroende på om fosforhalt i stallgödsel från balansberäkningar (se avsnitt 3.2.2) eller schablonvärden används (se bilaga 9.3). Givans storlek har stor betydelse då zinkkoncentrationen i gödseln är densamma i beräkningarna oberoende på vilket sätt fosforhalten i gödseln skattas. Detta påverkar



väsentligt hur stor zinktillförseln blir med stallgödseln. Val av indata på fosforhalten har således stor vikt vid dessa beräkningar.

När det gäller utflödesposterna är bortförseln med skördat växtmaterial av störst betydelse. Dock är det troligt att denna bortförsel av zink överskattas något. Fältbalansen är beräknad för matjorden men rötterna tar troligen även upp zink från djupare markskikt. Skillnaden mellan besättningstyperna i bortförsel av zink beror på att halmbehovet och därmed att mängden skördad halm skiljer sig mellan besättningstyperna. De specialiserade besättningarna har störst behov av halm/hektar varför också skördebortförsel blir störst för den besättningstypen. Den beräknade bortförseln av zink med skördat material är jämförbar med tidigare studier av Poulsen (1998) och Bengtsson et al. (2003).

Utlakningen av zink är av mindre betydelse. I brist på bättre data togs värdet på utlakningen från en undersökning i norra Sverige trots att gårdarna antas befinna sig i Västra Götaland. Nederbördsförhållandena skiljer sig mellan platserna och det är troligt att även markens egenskaper skiljer sig. Utlakningen bör således inte vara densamma för Västra Götaland och norra Sverige. Men storleken på utlakningen i olika studier är fortfarande betydligt mindre än stallgödselns inflöde varför slutresultatet inte bör påverkas speciellt mycket, även om andra nivåer på utlakningen hade använts.

### **5.3 Zinkackumulationstakt**

Utifrån beräkningarna framgick det tydligt att användningen av zinkoxid i högdos vid smågrisavvänjningen har stor påverkan på ackumulationstakten av zink i åkermarken. Detta då zinkhaltökningen från 50 mg Zn/kg jord till 100 mg Zn/kg jord går betydligt snabbare för de besättningar som alltid använder zink i högdos i jämförelse med besättningar som aldrig använder högdos. De produktionstyper som innebär en mer specialiserad uppfödning av smågrisar har snabbare ackumulationstakt än den produktionstyp som både håller slaktsvin och smågrisar när avvänjningszink används. För den integrerade besättningen tar det dubbelt så lång tid att nå 100 mg Zn/kg jord jämfört med satellitbesättningen. Däremot när avvänjningszink inte används är det tvärt om så att den integrerade besättningen har snabbast ackumulationstakt. I de beräkningar för besättningar där avvänjningszink inte används är det stallgödselgivan och hur mycket djupströgödsel som sprids som ger skillnaden i ackumulationstakt då det var mycket liten skillnad mellan besättningarna i flytgödselns zinkhalt per kg våtvikt. Mängden stallgödsel som sprids per hektar och år bygger på fosforhalten i stallgödseln då beräkningarna är gjorda mot att 22 kg fosfor tillförs per hektar med stallgödseln. Den integrerade besättningen har lägst fosforhalt i stallgödseln och kan därmed sprida mer stallgödsel per hektar och år än de andra besättningstyperna.

Tidigare studier av ackumulationen av zink till följd av spridning av grisstallgödsel har visat på snabbare ackumulationstakt av zink än vad som beräknats i denna studie (Poulsen, 1998; Jondreville et al., 2003). En möjlig anledning till denna skillnad är att deras studier är gjorda i andra länder med andra förutsättningar.

En sak som är viktig att påpeka kring beräkningarna av ackumulationstakten är att zinkflödena antas vara statiska medan de i verkligheten är dynamiska. En ökad zinkhalt i marken med åren leder förmodligen till större utlakning och växtupptag av zink. För zink är det troligt att förändringen av växtupptag samt utlakning är liten vilket borde göra att

beräkningarna ger små fel men att felet blir större ju längre tidsperiod beräkningarna görs för. Dessutom är zinkflödet litet via utlakningen och skördebortförelse i jämförelse med stallgödseln. Detta innebär att slutresultaten inte bör påverkas i någon högre grad av antagandet om statistiskt flöde över tid.

#### **5.4 Markundersökning**

De uppmätta zinkhalterna i matjorden översteg för flera av gris- och växtodlingsgårdarna medelvärdet för Västra Götaland (50 mg Zn/kg jord). En av de specialiserade besättningarna hade en zinkhalt på 78 mg Zn/kg jord som exempel. Zinkhalten i alven översteg halten i matjorden för de flesta stallgödslade fälten och kontrollfälten. Detta kan dels tyda på att zinkhalten inte ökat i matjorden men också att zinkhalten varierar med markdjupet möjligen till följd av annan mineralsammansättning djupare i markprofilen.

De ojusterade proven från markprovtagningen visade en signifikant högre zinkhalt i matjorden för stallgödslade fält tillhörande smågrisproducenter jämfört med kontrollfält tillhörande växtodlingsgårdar som inte fått stallgödsel. Men när man justerade med skillnaden i alvproven för att ta hänsyn till den naturliga variationen så blev det ingen signifikant skillnad mellan stallgödslat fält och kontrollfält. Om zinkhalten i verkligheten hade höjts till följd av stallgödselspridning skulle resultaten även ha varit signifikanta när matjordproven justerades med alvproven. Det kan vara så att den signifikanta skillnaden för de ojusterade värdena beror på att zinkhalten naturligt var högre i matjorden för de stallgödslade fälten. Resultaten av markprovtagningen är otydliga och bekräftar inte ackumulationstakten från beräkningarna men visar tendenser till att zinkhalten har höjts till följd av spridning av grisstallgödsel. En anledning till de otydliga resultaten skulle kunna vara att utfodringen och stallgödselspridningen som den ser ut idag inte har skett under så lång tid på de aktuella platserna. Zinkoxid i högdos har t.ex. bara använts i 6 år i en av de specialiserade besättningarna och zinkackumuleringen i åkermarken sker betydligt långsammare när högdos inte används i besättningarna. Som längst har användningen av högdos skett i 18 år i en av de integrerade besättningarna. En eventuell höjning av zinkhalten skulle därför kunna döljas av markens naturliga variation. Andersson (1992) anger att det p.g.a. markens heterogenitet kan vara svårt att med upprepande provtagningar och analyser upptäcka små förändringar med tiden i markens koncentration av spårämnen. En annan förklaring till resultaten skulle kunna vara att något eller några av kontrollfälten har tillförts betydliga mängder zink längre tillbaks i tiden som man idag inte känner till.

#### **5.5 Sammanfattande diskussion**

Akkumulationsberäkningarna visar tiden det tar att nå gränsvärdet för när tillförelse av avloppsslam inte längre är tillåten (100 mg Zn/kg jord). Den verkliga zinkhalten då problem kan uppstå i marken för mikroorganismer, växter och markdjur behöver inte vara densamma. Studierna som har gjorts visar upp stor variation då zinkhalten i marken orsakar toxiska effekter på mikroorganismer och markdjur (Giller et al., 1998; Lock och Jassen, 2001; McLaughlin och Smolders, 2001). Det finns åkermark som naturligt har högre zinkhalt än 100 mg Zn/kg jord där det inte är några problem att odla samtidigt som det finns indikationer i litteraturen att mikroorganismer kan påverkas negativt vid lägre zinkhalter än 100 mg Zn/kg jord. Dessutom har Mertens et al. (2006) visat att i en jord som har hög zinkhalt från början är

mikroorganismer och markdjur mindre känsliga för en ytterligare höjning än om motsvarande höjning sker i en mark med låg halt från början. Klart är att om zinkhalterna blir för höga i marken kan markens mikroorganismer och markdjur påverkas negativt vilket leder till att markens bördighet blir sämre.

Akkumulationstakten av zink i åkermarken för smågrisbesättningar som använder zinkoxid i högdos är troligtvis inte tillräckligt snabb för att på kort sikt (60 år) kunna äventyra produktionsförmågan på åkermark med en ursprunglig zinkhalt på 50 mg Zn/kg jord eller lägre. Men det finns åkermark som har högre halter av zink än så och det är osäker vid vilken zinkhalt i åkermarken som negativa effekter egentligen är att vänta. För majoriteten av svensk åkermark är användningen av zinkoxid i högdos antagligen inte ett akut problem då medelhalten i Sverige ligger på 59 mg Zn/kg jord och att största delen av den svenska åkermarken har en zinkhalt på under 100 mg Zn/kg jord enligt Eriksson et al. (2010). Men på längre sikt kommer zinkhalten enligt beräkningarna att öka så pass mycket att negativa effekter troligen kommer uppstå i marken till följd av spridning av grisstallgödsel, framförallt från besättningar som använder avvänjningszink. När väl zinkhalten har nått skadliga nivåer i marken tar det lång tid att få ner zinkhalten igen då utflödena är små. Sett ur ett hållbarhetsperspektiv kommer vi behöva kunna bruka marken för livsmedelsproduktion även långt in i framtiden. Därför bör användningen av zinkoxid i högdos så småningom fasas ut.

Alternativet till zinkoxid i högdos är antibiotikabehandling av smågrisarna i de fall då avvänjningsdiarré uppkommer. Antibiotikaresistensproblem är ett välkänt problem vilket gör att användandet av antibiotika inom djurproduktion bör ske mycket restriktivt. Men samtidigt vill man undvika ett lidande hos smågrisarna och självklart är den ekonomiska aspekten kring att förebygga och behandla avvänjningsdiarré av betydelse. Ett förbud av zink i högdos kan leda till en viss ökning av användandet av antibiotika i besättningarna samt en försämrad tillväxt och ökad dödlighet. Detta måste vägas in mot nackdelen med zinkackumulation till följd av användning av zinkoxid i högdos.

En annan intressant sak som framgår av beräkningarna av ackumulationstakten är att även om avvänjningszink inte används ökar zinkhalten tillräckligt snabbt för att inom 270 år nå 100 mg Zn/kg jord för besättningarna. För den integrerade besättningen tar det ca 200 år. Så om dagens metoder för att tillgodose zinkbehovet till grisar och sprida stallgödsel inte förändras i framtiden kan kvaliteten försämrans på den mark där grisstallgödseln sprids på oavsett om zink i högdos används. Ett sätt att minska problemet med zinkackumulation skulle kunna vara att få grisarna att ta upp zink mer effektivt. I framtiden skulle det möjligen kunna uppnås genom att förändra fodret, formen av tillsatt zink eller genom att förändra själva grisen. Ett annat sätt att minska problemen med zinkackumulation är att se till att stallgödseln inte bara används på samma fält år efter år. Man skulle kunna transportera gödseln och sprida den på åkermark som tillhör rena växtodlingsgårdar men det är nog tveksamt om det är möjligt i större skala p.g.a. transportkostnader och svag betalningsvilja för stallgödsel hos växtodlingsgårdar.

Flödesbalansberäkningar och ackumulationsberäkningar har sin styrka i att de kan ge en prognos på framtida problem med zinkackumulation vilket kan vara svårt att uppmäta vid markundersökningar. Samtidigt bygger beräkningarna på indata som samlats in via en litteraturgenomgång. Kvaliteten på indata och relevansen av de antaganden som gjorts påverkar hur jämförbar beräkningarna blir med verkligheten. För att i framtida studier få en mer fullständig bild av hur zinkflödena ser ut på olika grisgårdar behöver man göra detaljerade undersökningar där de faktiska flödena mäts under ett eller flera år.

Ett område som mer kunskap behövs inom är zinktoxicitet. Trots att mycket forskning redan gjorts inom området behövs det göras mer för att få fram vid vilka zinkhalter i marken skadliga effekter är att vänta på mikroorganismer, markdjur och växter.

## **6. Slutsatser**

Användningen av zinkoxid i högdos vid smågrisavvänjningen ger enligt beräkningarna betydligt högre zinkhalt i grisstallgödseln samt ger en betydligt snabbare zinkackumulation i åkermarken. Enligt beräkningarna är användningen av zinkoxid i högdos vid smågrisavvänjningen inte ett akut problem för majoriteten av svensk åkermark. Det är svårt att avgöra vid vilka zinkhalter i åkermarken som negativa effekter egentligen är att vänta på åkermarkens bördighet. Men på längre sikt kommer zinkhalten enligt beräkningarna att öka så pass mycket att negativa effekter troligen kommer uppstå i marken till följd av spridning av grisstallgödsel från besättningar som använder avvänjningszink. Markprovtagningen bekräftade inte ackumulationstakten från beräkningarna men visade tendenser till att zinkhalten i matjorden har höjts till följd av spridning av grisstallgödsel.

## **7. Erkännande**

Tack till Nils Holmgren och Monika Löfstedt (Svenska Djurhälsovården AB) som tagit fram undersökningsgårdar och information om gårdarna. Samt varit till stor hjälp med information rörande grisproduktion. Slutligen ett varmt tack till min handledare Jan Eriksson som bidragit med värdefulla synpunkter om arbetet och skriftens utformning.

## 8. Referenser

- Adriano, D. C. (2001). Trace elements in terrestrial environments. Biogeochemistry, bioavailability and risks of metals. Second edition. New York: Springer.
- Albertsson, B., Lundström, C., Persson, S. (2001). Gödselproduktion, lagringsbehov och djurtäthet i olika djurhållningssystem med grisar. Jönköping: Jordbruksverket. Rapport 2001:13. ISSN 1102-3007.
- Albertsson, B. (2011). Riktlinjer för gödsling och kalkning 2012. Jönköping: Jordbruksverket. JO11:21. ISSN 1102-8025.
- Andersson, A. (1992). Trace elements in agricultural soils – fluxes, balances and background values. Swedish Environmental Protection Agency. Report 4077. ISSN 0282-7298.
- Bach, H., Christensen, N. & Kristensen, P. (Eds.) 2002: The State of the Environment in Denmark, 2001. *National Environmental Research Institute*, Roskilde, Denmark. NERI Technical Report, 409.
- Bengtsson, H., Öborn, I., Jonsson, S., Nilsson, I., Andersson, A. (2003). Field balances of some mineral nutrients and trace elements in organic and conventional dairy farming – a case study at Öjebyn, Sweden. *European Journal of Agronomy* 20, 101-116.
- Bengtsson, H., Alvenäs, G., Nilsson, S.I., Hultman, B., Öborn, I. (2006). Cadmium, copper and zinc leaching and surface run-off losses at the Öjebyn farm in Northern Sweden – Temporal and spatial variation. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 113, 120-138.
- Bonten, L. T. C., Römkens, P. F. A. M., Brus, D. J. (2008). Contribution of heavy metal leaching from agricultural soils to surface water loads. *Environmental Forensics* 9, 252-257.
- Chaudri, A.M., Allain, C.M.G., Barbosa-Jefferson, V.L., Nicholson, F.A., Chambers, B.J., McGrath, S.P. (2000). A study of the impacts of Zn and Cu on two rhizobial species in soils of a long-term field experiment. *Plant and Soil* 221, 167–179.
- Chaudri, A.M., McGrath, S.P., Gibbs, P., Chambers, B.C., Carlton-Smith, C., Bacon, J., Campbell, C., Aitken, A. (2008). Population size of indigenous *Rhizobium leguminosarum biovar trifolii* in long-term field experiments with sewage sludge cake, metal-amended liquid sludge or metal salts: effects of zinc, copper and cadmium. *Soil Biology & Biochemistry* 40, 1670–1680.
- Dahlström, J., Eskilsson, K., Gredegård, S., Molander, C., Wejdemar, K. (2011). Jordbruksverkets foderkontroll 2010. Jönköping. ISSN 1102-3007.
- De Brouwere, K., Hertigers, S., Smolders, E. (2007). Zinc toxicity on N<sub>2</sub>O reduction declines with time in laboratory spiked soils and is undetectable in field contaminated soils. *Soil Biology & Biochemistry* 39, 3167–3176.

Dudka, S., Piotrowska, M., Chlopecka, A. (1994). Effect of elevated concentrations of Cd and Zn in soil on spring wheat yield and the metal contents of the plants. *Water Air and Soil Pollution* 76, 333-341.

Dudka, S., Miller, P. W. (1999). Accumulation of potentially toxic elements in plants and their transfer to human food chain. *Journal of Environmental Science and Health* 34, 681-708.

Eckel, H., Roth, U., Döhler, H., Nicholson, F., Unwin, R. (Editors). (2005). Assessment and reduction of heavy metal input into agro-ecosystems. KTBL-Schrift 432. Darmstadt.

Eriksson, J. (2001). Halter av 61 spårelement i avloppsslam, stallgödsel, handelsgödsel, nederbörd samt i jord och gröda. Stockholm: Naturvårdsverket, rapport 5148.

Eriksson, J., Nilsson, I., Simonsson, M. (2005). Wiklanders marklära. Lund: Studentlitteratur.

Eriksson, J., Mattsson, L., Söderström, M. (2010). Tillståndet i svensk åkermark och gröda, data från 2001-2007. Naturvårdsverket, rapport 6349.

Eriksson, J. (2012). Personligt meddelande telefon 2012-10-09.

Ewing, K. (2006). Smågrisar. I: Naturbrukets husdjur del 2. (Red) Lärn-Nilsson, J. 349-359. Stockholm: Natur och kultur.

Filser, J., Koehler, H., Ruf, A., Römbke, J., Prinzing, A., Schaefer, M. (2008). Ecological theory meets soil ecotoxicology: Challenge and chance. *Basic and Applied Ecology* 9, 346–355.

Giller, E. K., Witter, E., Mcgrath, P. S. (1998). Toxicity of heavy metals to microorganisms and microbial processes in agricultural soils: a review. *Soil Biology & Biochemistry* 30, 1389-1414.

Giller, E. K., Witter, E., Mcgrath, P. S. (2009). Heavy metals and soil microbes. *Soil Biology & Biochemistry* 41, 2031–2037.

Gräber, I., Hansen, J. F., Olesen, S. E., Petersen, J., Østergaard, H. S., Krogh, L. (2005). Accumulation of copper and zinc in Danish agricultural soils in intensive pig production areas. *Danish Journal of Geography* 105, 15-22.

Gupta, C. U., Gupta, C. S. (1998). Trace element toxicity relationships to crop production and livestock and human health: implications for management. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 29, 1491-1522.

Gustafson, M. G., Salomon, E., Jonsson, S., Steineck, S. (2003). Fluxes of K, P, and Zn in a conventional and an organic dairy farming system through feed, animals, manure, and urine- a case study at Öjebyn, Sweden. *European Journal of Agronomy* 20, 89-99.

Gustafson, M. G., Salomon, E., Jonsson, S. (2007). Barn balance calculations of Ca, Cu, K, Mg, Mn, N, P, S and Zn in a conventional and organic dairy farm in Sweden. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 119, 160–170.

Göransson, L. (2012). Personligt meddelande mail 2012-07-02.

Henriksson, G., Palm, O., Davidsson, K., Ljung, E., Sager, A. (2012). Rätt slam på rätt plats. SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut. ISSN 1654-4706

Holmgren, N. (1994). Profylaktiska effekter av zinkoxid eller olaquinox mot avvänjningsdiarré hos svin. *Svensk veterinär tidning* 46, 217-222.

Holmgren, N., Mattson, B., (2012). Personligt meddelande mail 2012-06-17.

HUV-Institutionen för husdjurens utfodring och vård. Hemsida [Online]. (2010). Fodertabell för gris. Tillgängligt: <http://www.slu.se/sv/fakulteter/vh/institutioner/institutionen-for-husdjurens-utfodring-och-varld/verktyg/fodertabeller/fodertabeller-och-naringsrekommendationer-for-gris/fodertabell-gris/> [2012-06-09].

IVL Svenska Miljöinstitutet AB. Hemsida [Online]. (2011). Tungmetaller i nederbörd. Tillgängligt: [http://www3.ivl.se/miljo/db/IVL\\_luft\\_registersida.htm](http://www3.ivl.se/miljo/db/IVL_luft_registersida.htm) [2012-06-30].

Jondreville, C., Revy, P.S., Dourmad, J.Y. (2003). Dietary means to better control the environmental impact of copper and zinc by pigs from weaning to slaughter. *Livestock Production Science* 84, 147-156.

Kabata-Pendias, A., Pendias, H. (2001). Trace elements in soils and plants. Third edition. Florida.

Kennedy, A. C., Papendick, R. I. (1995). Microbial characteristics of soil quality. *Journal of Soil and Water Conservation* 50, 243-248.

Kiekens, L. (1995). Zinc. In: Alloway, B.J (Ed.) *Heavy metals in soils*. Second edition. 284-305. Glasgow.

Kommissionens förordning (EG) nr 1334/2003 av den 25 juli 2003 om ändring av villkoren för godkännande av fodertillsatser som hör till typen spårelement.

Lavelle, P. (1997). Faunal Activities and Soil Processes: Adaptive Strategies That Determine Ecosystem Function. *ADVANCES IN ECOLOGICAL RESEARCH* 27, 94-132.

Lavelle, P., Decaëns, T., Aubert, M., Barot, S., Blouin, M., Bureau, F., Margerie, P., Mora, P., Rossi, J-P. (2006). Soil invertebrates and ecosystem services. *European Journal of Soil Biology* 42, 3-15.

Levlin, E., Tideström, H., Kapilashrami, S., Stark, K., Hultman, B. (2001). Slamkvalitet och trender för slamhantering. Stockholm: VA-FORSK. Rapport: 2001:5. ISSN: 1102-5638.

- Lock, K., Janssen, R. C. (2001). Modeling zinc toxicity for terrestrial invertebrates. *Environmental Toxicology and Chemistry* 20, 1901-1908.
- Lock, K., Janssen, R. C., De Coen, M. W. (2000). Multivariate test designs to assess the influence of zinc and cadmium bioavailability in soils on the toxicity to *Enchytraeus albidus*. *Environmental Toxicology and Chemistry* 19, 2666-2671.
- Löfstedt, M., Holmgren, N. (2005). Avvänningsboken. Svenska Djurhälsovården. Skara.
- Mahan, D. C., Newton, E. A. (1995). Effect of initial breeding weight on macro- and micromineral composition over a three-parity period using a high-producing sow genotype. *Journal of Animal Science* 73, 151-158.
- Mahan, D. C., Shields, R. G. (1998). Macro- and micromineral composition of pigs from birth to 145 kilograms of body weight. *Journal of Animal Science* 76, 506–512.
- Martinez, C. E., Motto, H. L. (2000). Solubility of lead, zinc and copper added to mineral soils. *Environmental Pollution* 107, 153-158.
- McLaughlin, M., J., Smolders, E. (2001). Background zinc concentrations in soil affect the zinc sensitivity of soil microbial processes—a rationale for a metalloregion approach to risk assessments. *Environmental Toxicology and Chemistry* 20, 2639–2643.
- Melin, L., Holmgren, N., Wallgren, P., Franklin, A. (1997). Känslighet för olaquinox och zink hos koliforma bakterier från avvanda grisar. *Svensk Veterinär tidning* 49, 573-579.
- Mertens, J., Springael, D., De Troyer, I., Cheyns, K., Wattiau, P., Smolders, E. (2006). Long-term exposure to elevated zinc concentrations induced structural changes and zinc tolerance of the nitrifying community in soil. *Environmental Microbiology* 8, 2170-2178.
- Montilla, I., Parra M. A., Torrent, J. (2003). Zinc phytotoxicity to oilseed rape grown on zinc-loaded substrates consisting of Fe oxide-coated and calcite sand. *Plant and Soil* 257, 227–236.
- Moolenaar, S. W. (1999). Heavy-Metal Balances, Part II Management of Cadmium, Copper, Lead, and Zinc in European Agro-Ecosystems. *Journal of Industrial Ecology* 3, 41-53.
- Moolenaar, S. W., Lexmond, M. (1999). Heavy Metal Balances, Part I General Aspects of Cadmium, Copper, Zinc, and Lead Balance Studies in Agro-Ecosystems. *Journal of Industrial Ecology* 2, 45-60.
- Nahmani, J., Lavelle, P. (2002). Effects of heavy metal pollution on soil macrofauna in a grassland of Northern France. *European Journal of Soil Biology* 38, 297-300.
- Naturvårdsverkets författningssamling. SNFS 1994:2 MS:72. ISSN 0347-5301. [Online] Tillgänglig: [http://www.naturvardsverket.se/Documents/foreskrifter/nfs1994/SNFS1994\\_02k.pdf](http://www.naturvardsverket.se/Documents/foreskrifter/nfs1994/SNFS1994_02k.pdf) [2011-10-26].



Naturvårdsverket. (2010). Redovisning av regeringsuppdrag 21. Uppdatering av "Aktionsplan för återföring av fosfor ur avlopp" [Online]. Tillgänglig: [http://www.naturvardsverket.se/upload/30\\_global\\_meny/02\\_aktuellt/yttranden/Sa\\_har\\_vill\\_vi\\_aterfora\\_mer\\_fosfor\\_till\\_kretsloppet/Uppdatering\\_av\\_Aktionsplan\\_for\\_aterforing\\_av\\_fosfor\\_ur\\_avlopp.pdf](http://www.naturvardsverket.se/upload/30_global_meny/02_aktuellt/yttranden/Sa_har_vill_vi_aterfora_mer_fosfor_till_kretsloppet/Uppdatering_av_Aktionsplan_for_aterforing_av_fosfor_ur_avlopp.pdf) [2011-12-01].

Nicholson, F. A., Chambers, B. J., Williams, J. R., Unwinc, R. J. (1999). Heavy metal contents of livestock feeds and animal manures in England and Wales. *Bioresource Technology* 70, 23-31.

Nicholson, F. A., Smith, S. R., Alloway, B. J., Carlton-Smith, C., Chambers, B. J. (2003). An inventory of heavy metals inputs to agricultural soils in England and Wales. *The Science of the Total Environment* 311, 205–219.

NRC. (1998). Nutrient requirements of swine. Tenth Revised Edition. [Online] National Research Council. Washington, D.C. Tillgänglig: [http://www.nap.edu/openbook.php?record\\_id=6016&page=R1](http://www.nap.edu/openbook.php?record_id=6016&page=R1) [2012-05-05].

PIG WIN. (2012a). Smågrisproduktion medeltal samtliga. [Online]. Tillgänglig: <http://www.pigwin.se/medeltal-sugg-1> [2012-07-10].

PIG WIN. (2012b). PigWin Slakt årsmedeltal - samtliga anslutna. [Online]. Tillgänglig: <http://www.pigwin.se/medeltal-slakt-1> [2012-07-15].

Posthuma, L., Van Straalen, N. M. (1993). Heavy-metal adaptation in terrestrial invertebrates: a review of occurrence, genetics, physiology, and ecological consequences. *Comparative Biochemistry and Physiology*, 11-38.

Poulsen, H. D. (1995). Zinc Oxide for weanling piglets. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section Animal Science* 45, 159-167.

Poulsen, H. D. (1998). Zinc and copper as feed additives, growth factors or unwanted environmental factors. *Journal of Animal and Feed Sciences* 7, 135-142.

Rusk, J., Hamon, R., Stevens, D., McLaughlin, M. (2004). Adaptation of Soil Biological Nitrification to Heavy Metals. *Environmental Science Technology* 38, 3092-3097.

Ruyters, S., Mertens, J., T'Seyen, I., Springael, D., Smolders, E. (2010). Dynamics of the nitrous oxide reducing community during adaptation to Zn stress in soil. *Soil Biology & Biochemistry* 42, 1581-1587.

Rühling, Å., Brumelis, G., Goltsova, N., Kvietkus, K., Kubin, E., Liiv, S., Magnusson, S., Mäkinen, A., Pilegaard, K., Rasmussen, L., Sander, E., Steinnes, E. (1992). Atmospheric heavy metal deposition in northern Europe 1990. Århus: Nordic Council of Ministers. ISSN 0903-7004.

Sauvant, D., Perez, J-M., Tran, G (Eds.). (2004). Tables of composition and nutritional value of feed materials. 2. Ed. Wageningen: Wageningen Academic Publishers.

- SCB. (2012a). Normskördar för skördeområden, län och riket 2012. SCB och Jordbruksverket. [Online] Tillgänglig: [http://www.scb.se/Statistik/JO/JO0602/2012A01/JO0602\\_2012A01\\_SM\\_JO15SM1201.pdf](http://www.scb.se/Statistik/JO/JO0602/2012A01/JO0602_2012A01_SM_JO15SM1201.pdf) [2012-08-28].
- SCB. (2012b). Animalieproduktion. SCB och jordbruksverket. [Online] Tillgänglig: [http://www.scb.se/Statistik/JO/JO0604/2012M06/JO0604\\_2012M06\\_SM\\_JO48SM1208.pdf](http://www.scb.se/Statistik/JO/JO0604/2012M06/JO0604_2012M06_SM_JO48SM1208.pdf) [2012-09-15].
- SCF. (2003). Opinion of the Scientific Committee on Food on the Tolerable Upper Intake Level of Zinc. European commission. Health & consumer protection directorate-general.
- Simonsson, A., Andersson, K., Andersson, P., Dalin, A-M., Jensen, P., Johansson, E., Jonasson, L., Olsson, A-C., Olsson, O. (1997). Svinboken. LTs förlag. ISBN: 91-36-03320-0.
- Simonsson, A., Lindberg, J-E., Lyberg, K., Hederström, Å., Mattsson, B. (2005). Bättre fosforutnyttjande vid blötutfodring av grisar. Praktiskt Inriktade Grisförsök. Nr 37.
- SJV. (2003a). Jordbruksverkets foderkontroll 2001. Rapport 2003:3.
- SJV. (2003b). Jordbruksverkets foderkontroll 2002. Rapport 2003:8.
- SJV. Hemsida [Online]. (2010). Produktlistan 2010. Tillgänglig: <http://www.sjv.se/download/18.773c089e128e1620fa5800087307/Produktlista100610.pdf> [2012-07-05].
- Smit, E. C., van Gestel, A. M. C. (1998). Effects of soil type, prepercolation, and ageing on bioaccumulation and toxicity of zinc for the springtail *Folsomia Candida*. *Environmental Toxicology and Chemistry* 17, 1132-1141.
- Smolders, E., Oorts, K., van Sprang, P., Schoeters, I., Janssen, C. R., Mcgrath, S.P., Mclaughlin, M.J. (2009). Toxicity of trace metals in soil as affected by soil type and aging after contamination: using calibrated bioavailability models to set ecological soil standards. *Environmental Toxicology and Chemistry* 28, 1633–1642.
- Spurgeon, J. D., Hopkin, P. S. (1995). Extrapolation of the laboratory-based OECD earthworm toxicity test to metal-contaminated field sites. *Ecotoxicology* 4, 190-205.
- Stampe, M. (2011). Tjugo år med zinkoxid. [Online] Tillgänglig: <http://www.svdhv.org/sv/aktuellt/artiklar/2011/e/243/tjugo-ar-med-zinkoxid/> [2012-05-04].
- Starberg, K. (2005). Biogasanläggningar med potential - Utvärdering av LIP-finansierade system för rötning och kompostering. Naturvårdsverket, rapport 5476.
- Steineck, S., Gustafson, G., Andersson, A., Tersmeden, M., Bergström, J. (1999). Stallgödselns innehåll av växtnäring och spårelement. Naturvårdsverket, rapport 4974.
- Strandmark, M. (2011). Gödsel och miljö 2011. Jönköping: Jordbruksverket. OVR206 jan 2011.

Svensson, A. (2003). Nedfall av tungmetaller ock kvicksilver. Göteborg: IVL Svenska Miljöinstitutet AB. ISBN: 91-7281-096-3.

SVS. (2011). Riktlinjer för användning av antibiotika till produktionsdjur - Nötkreatur och gris. Sveriges Veterinärmedicinska Sällskap, Husdjurssektionen.

Walsh, C., Sandstead, H., Prasad, A., Newberne, P., Fraker P. (1994). Zinc: Health Effects and Research Priorities for the 1990s. *Environmental Health Perspective* 102, 5-46.

Winding, A., Hund-Rinke, K., Rutgers, M. (2005). The use of microorganisms in ecological soil classification and assessment concepts. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 62, 230–248.

Öborn, I., Jansson, G., Johnsson, L. (1995). A field study on the influence of soil pH on trace element levels in spring wheat (*Triticum aestivum*), potatoes (*Solanum tuberosum*) and carrots (*Daucus carota*). *Water, Air and Soil Pollution* 85, 835-840.

Öborn, I., Edwards, A.C., Witter, E., Oehema, O., Ivarsson, K., Withers, P.J.A., Nilsson, S.I., Richert Stinzing, A. (2003). Element balances as a tool for sustainable nutrient management: a critical appraisal of their merits and limitations within an agronomic and environmental context. *European Journal of Agronomy* 20, 211-225.

## 9. Bilagor

### 9.1 Naturligt innehåll av zink i foder

För att kontrollera om det är rimligt att anta att fodrets naturliga zinkhalt är ca 30 mg Zn/kg görs kontrollberäkningar utifrån en foderstat (tabell 23) (Simonsson et al., 2005). Zinkhalter för de olika foderråvarorna tas ifrån NRC (1998) och HUV (2010). Då spannmålen är en stor del av foderblandningen görs även beräkningar där medelzinkhalten för spannmålen tas ifrån en undersökning av Eriksson et al. (2010).

**Tabell 23.** Fodersammansättning från Simonsson et al. (2005) och zinkhalten (mg Zn/kg foder) i olika foderråvaror från olika referenser.

Foderråvara	Foderandel (kg/kg)	HUV, 2010	NRC, 1998	Eriksson et al., 2010
Vete	0,5	40	39,5	25
Korn	0,278	28	25	30
Rapsmjöl	0,08	73	-	-
Sojamjöl	0,113	57,7	52,3	-
Foderkalk	0,019	0	-	-
Koksalt	0,004	0	-	-
Övrigt	0,005	0	-	-

- Innebär att data saknas från den aktuella referensen och då har värden från HUV 2010 använts för beräkningen.

Utifrån resultaten av beräkningarna (se tabell 24) framgår det att zinkhalten i fodret kan vara något över det som antagits gälla som ”fodrets naturliga” zinkhalt men att det är troligt att den naturliga zinkhalten inte avviker med mer än 10 mg Zn/kg foder.

**Tabell 24.** Naturlig zinkhalt (mg Zn/kg) i foder beräknad med data från olika referenser.

Referens	HUV (2010)	NRC (1998)	Eriksson et al. (2010)
Zinkhalt per kg foder	40	39	33

### 9.2 Handlingsbidrag till zink i fältbalansen

Eftersom det finns stallgödsel på gården och det antas att stallgödselgivans storlek motsvarar 22 kg fosfor/ha är tillförd handelsgödsel ett komplement för att nå gödslingsrekommendationerna. För att kunna bestämma ett handelsgödselbehov antas växtföljden havre-vårkorn-höstraps-höstvete och att åkermarken inte har lägre kalium och fosforklass än III. Gödslingsbehoven för grödorna tas från Albertsson (2011) (tabell 25).

Tabell 25. Grödornas skördenivåer och behov av N, P och K (Albertsson, 2011).

Gröda	Skörd (ton/ha)	P- behov (kg/ha)	K -behov (kg/ha)	N -behov (kg/ha)
Höstvete	6	15	10	140
Vårkorn	5	15	10	100
Havre	5	15	10	90
Höstraps	3,5	25	25	130

För att avgöra vilket behov som finns av kväve och kaliumgödning bestäms hur mycket av dessa näringsämnen som tillförs åkermarken (tabell 26) via stallgödseln utifrån jordbruksverkets (Albertsson, 2011) schablonvärden på kalium och kväveinnehåll i stallgödseln.

Tabell 26. Gödslingseffekt av kalium och kväve med stallgödselgiva innehållande 22 kg fosfor.

Gödseltyp	Kväve (kg)	Kalium (kg)
Integrerad flytgödsel	43	43
Specialiserad flytgödsel	66	52
Satellitflytgödsel	62	49
Djupströ	5	44

Beräkningarna visar att kaliumbehovet med råge uppfylls med enbart stallgödsel och mer detaljerade beräkningar genomfördes inte för kalium. Gällande fosforbehovet för höstraps antas att överskottet i förhållande till behovet till andra grödor i växtföljden är tillräckligt för att täcka höstrapsens behov. Däremot finns ett kvävebehov som behövs kompletteras via handelsgödsel. Kvävebehovet minskas ner beroende på förfruktseffekt och långsiktig kväveverkan av mångårig stallgödselanvändning (Albertsson, 2011). Spannmålets förfruktseffekt och kväveverkan till efterföljande gröda är noll i denna växtföljd. Däremot har höstrapsen en förfruktseffekt och extra kväveverkan som ger ett nettotillskott av kväve på 22 kg. Den långsiktiga kväveverkan p.g.a. stallgödsel antas vara 12 kg/ha (Albertsson, 2011). Efter dessa justeringar beräknas behovet av kvävegödning för de olika grödorna då djupströgödsel eller flytgödsel används för de olika besätningarna (tabell 27).

Tabell 27. Beräknat kvävebehov (kg kväve/ha) hos olika grödor som också får stallgödsel.

Gröda	Integrerad	Specialiserad	Satellit	Djupströgödsel
Höstvete	63	41	44	101
Havre	35	13	16	73
Vårkorn	45	23	26	83
Höstraps	75	53	56	113

Kvävebehovet anges i Axanbehov genom att dividera kvävebehovet med kvävehalten i Axan (27 %). Detta då zinkhalten för kvävegödsel som användes i beräkningen är angivet per preparatmängd (Eckel et al., 2005).

I de integrerade besättningarna och de specialiserade besättningarna produceras både djupströgödsel och flytgödsel vilket gör att på en del av dessa gårdars åkerareal kommer djupströgödsel att användas vissa år och flytgödsel att användas andra år. Då det även är en växtföljd kommer kvävegödslingen till ett enskilt fält variera mellan åren.

För att avgöra hur stort det genomsnittliga kvävebehovet är på grisgårdarna antas att djurantalet är maximerat mot maximal tillåten fosforgiva per hektar och år. På gården antas att det odlas höstvetete-havre-korn-höstraps i den ordningen och grödorna odlades på 25 hektar vardera. Ingen areal har samma gröda två år i rad. Dessutom antas att all åkerareal någon gång gödslats med djupströgödsel men aldrig återkommande innan all åkermark fått djupströgödsel en gång. Djupströgödseln placeras i första hand i höstraps och i andra hand höstvetete. Den areal som djupströgödseln inte räckte till i höstraps och höstvetete fick flytgödsel. Havre och vårkorn fick flytgödsel. Hur stor del av åkerarealen som får djupströgödsel respektive flytgödsel för de olika besättningstyperna tas ifrån stallgödselberäkningarna i fältbalansen (se tabell 10). Den totala förbrukningen på gården av Axan för växtföljden beräknas sedan för de olika besättningstyperna (se tabell 28).

**Tabell 28.** Förbrukning av kvävehandelsgödselmedel i besättningstyperna.

Kategori	Areal	Stallgödseltyp	Axanbehov (kg/ha)	Total giva (kg)
<i>Integrerad besättning</i>				
Höstvetete	25	Flyt	233	5 823
Havre	25	Flyt	129	3 231
Vårkorn	25	Flyt	166	4 157
Höstraps	18	Djupströ	419	7 542
Höstraps	7	Flyt	277	1 942
<b>Summa:</b>	100	-	-	22 694
<b>Medel per hektar</b>	1	-	-	227
<i>Specialiserad besättning</i>				
Höstvetete	3	Flyt	150	450
Havre	25	Flyt	46	1 156
Vårkorn	25	Flyt	83	2 082
Höstraps	25	Djupströ	419	10 476
Höstvetete	22	Djupströ	375	8 241
<b>Summa:</b>	100	-	-	22 404
<b>Medel per hektar</b>	1	-	-	224
<i>Satellitbesättning</i>				
Höstvetete	25	Flyt	164	4 109

<b>Havre</b>	25	Flyt	61	1 517
<b>Vårkorn</b>	25	Flyt	98	2 443
<b>Höstraps</b>	25	Flyt	209	5 220
<b>Summa:</b>	100	-	-	13 289
<b>Medel per hektar</b>	1	-	-	133

\*För att bestämma hur mycket handelsgödselmedel som behövdes krävdes det att andelen av åkerarealen som gödslades med djupströgödsel beräknades. Dessutom ett antagande om vilka grödor som fick flytgödsel respektive djupströgödsel.

En medelgiva av handelsgödseln beräknas därefter för växtföljden. Zinktillförseln via kvävegödselmedel beräknas avslutningsvis där handelsgödseln antas innehålla 5 mg Zn/kg handelsgödselmedel (Eckel et al., 2005). Handelsgödselns tillförsel av zink är försumbart litet i jämförelse med de andra zinkflödena till åkermarken (se tabell 29). Detta beror till stor del på att enbart kvävegödselmedel används vilket är tämligen ”rent” jämfört med gödselmedel innehållande fosfor. Om istället fosforbaserade gödselmedel hade används skulle tillförseln blivit större men fortfarande låg i jämförelse med stallgödselns tillförsel i fältbalansen.

**Tabell 29.** Beräknad årlig zinktillförsel (g Zn/ha och år) med handelsgödsel för de olika besättningstyperna.

Besättningstyp	Zinktillförsel
<b>Integrerad</b>	1,1
<b>Specialiserad</b>	1,1
<b>Satellit</b>	0,7

### 9.3 Zinktillförsel då andra fosforhaltsdata för stallgödseln används

Ett viktigt moment i fältbalansberäkningarna är att bestämma stallgödselgivan med antagandet att maximalt 22 kg fosfor får spridas per hektar och år. Det finns två metoder att skatta fosforhalten i stallgödseln. Här redovisas hur utfallet hade blivit då allt annat var detsamma utom att fosforhalten i stallgödseln tas ifrån schablonvärden i Albertsson (2011). De schablonvärden som används är så nära som möjligt den beräknade stallgödselns torrsubstans och gödselslag (djupströgödsel och flytgödsel). Stallgödselgivorna då schablonvärden används redovisas i tabell 30. Givorna blev större än vad som blev fallet enligt fosforbalansberäkningen.

**Tabell 30.** Beräknad maximal stallgödselgiva (ton våtvikt per hektar) mot gällande lagstiftning att maximalt 22 kg fosfor per hektar får tillföras åkermarken per år. Beräkningarna baseras på schablonvärden gällande fosforhalt per kg stallgödsel (Albertsson, 2011).

Stallgödseltyp	Giva (ton/ha)
<b>Integrerad flytgödsel</b>	36,7
<b>Specialiserad flytgödsel</b>	27,5
<b>Satellitflytgödsel</b>	27,5
<b>Integrerad och specialiserad djupströgödsel</b>	14,7

Zinktillförseln med stallgödseln (tabell 31 och 32) blir högre när schablonvärdena används (Albertsson, 2011) för att skatta fosforhalten i stallgödseln än om fosforhalten skattats med balansberäkningar (se avsnitt 3.2.2).

**Tabell 31 och 32.** Beräknad zinktillförsel (g/ha och år) med stallgödsel beroende på vilken metod fosforhalten har skattats. Den vänstra tabellen (31) visar zinktillförseln när zinkoxid i högdos används och den högra tabellen (32) visar när zinkoxid i högdos inte används.

Kategori	P-balans	P-schablon	Kategori	P-balans	P-schablon
Integrerad	1 132	1 488	Integrerad	805	1 058
Specialiserad	1 495	1 834	Specialiserad	646	791
Satellit	2 151	2 400	Satellit	739	825

Beroende på fosforhalt skiljde sig ackumulationstakten (se tabell 33 och 34). Ackumulationstakten blir högre när schablonvärdena används för att skatta fosforhalten i stallgödseln. Speciellt stor skillnad blev det för de integrerade besättningarna.

**Tabell 33 och 34.** Beräknade antal år tills zinkhalten ökat från 50 mg till 100 mg Zn/kg jord beroende på vilken metod fosforhalten i stallgödseln har skattats. Tabellen till vänster (33) visar ackumulationen då zink i högdos alltid används medan den högra tabellen (34) visar ackumulationen då avvänjningszink aldrig används.

Kategori	P-balans	P-schablon	Kategori	P-balans	P-schablon
Integrerad	135	101	Integrerad	198	146
Specialiserad	101	81	Specialiserad	262	206
Satellit	68	61	Satellit	220	194

#### 9.4 Andelen smågrisar som får zinkoxid i högdos

Utifrån den totala mängden såld zinkoxid till avvänjning av smågrisar (Dahlström et al., 2011), foderkonsumtionen under avvänjningen (Holmgren och Mattson pers. medd., 2012) samt antalet slaktade slaktsvin (SCB, 2012b) uppskattas andelen smågrisar i Sverige som fick zink i högdos år 2010. Resultatet visar att omkring 25 % av smågrisarna år 2010 fick zinkoxid i högdos. Stampe (2011) uppskattade som jämförelse att ca 35 % av smågrisarna fick avvänjningszink under 2010.



## 9.5 Rådata matjord från markprovtagning

Vid markprovtagningen av matjorden togs tre provtagningspunkter per fält (se tabell 35). I resultatdelen redovisades medelvärdena per gård för de tre provpunkterna.

**Tabell 35.** Rådata zinkhalt (mg Zn/kg jord) för matjordsprovtagning för stallgödslade fält och -kontrollfält.

<b>Prov</b>	<b>Stallgödslade fält</b>	<b>Kontrollfält</b>
<b>1 A Integrerad</b>	43,4	59,9
<b>2 A Integrerad</b>	72,2	65,0
<b>3 A Integrerad</b>	73,5	71,3
<b>1 B Integrerad</b>	84,1	72,7
<b>2 B Integrerad</b>	71,6	77,7
<b>3 B Integrerad</b>	78,4	74,2
<b>1 C Specialiserad</b>	37,4	38,7
<b>2 C Specialiserad</b>	37,7	40,6
<b>3 C Specialiserad</b>	40,6	32,6
<b>1 D Specialiserad</b>	64,8	58,1
<b>2 D Specialiserad</b>	61,7	55,6
<b>3 D Specialiserad</b>	63,1	59,4
<b>1 E Satellit</b>	49,1	43,9
<b>2 E Satellit</b>	47,7	46,7
<b>3 E Satellit</b>	48,9	46,3
<b>1 F Satellit</b>	53,3	39,6
<b>2 F Satellit</b>	50,4	40,6
<b>3 F Satellit</b>	46,9	37,8