



BELYSNING AF KOBBER- OG ZINKINDHOLDET I JORD

Indhold og udvikling i kvadratnettet og måling på udvalgte brugstyper

Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

nr. 159

2015



AARHUS
UNIVERSITET

DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

[Tom side]

BELYSNING AF KOBBER- OG ZINKINDHOLDET I JORD

Indhold og udvikling i kvadratnettet og måling på udvalgte brugstyper

Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

nr. 159

2015

Jesper L. Bak
John Jensen
Martin M. Larsen

Aarhus Universitet, Institut for Bioscience



AARHUS
UNIVERSITET

DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

Datablad

- Serietitel og nummer: Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 159
- Titel: Belysning af kobber- og zinkindholdet i jord
Undertitel: Indhold og udvikling i kvadratnettet og måling på udvalgte brugstyper
- Forfattere: Jesper L. Bak, John Jensen & Martin M. Larsen
Institution: Aarhus Universitet, Institut for Bioscience
- Udgiver: Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi ©
URL: <http://dce.au.dk>
- Udgivelsesår: Oktober 2015
Redaktion afsluttet: September 2015
- Faglig kommentering: Morten T. Strandberg & Følgegruppen for to projekter om undersøgelse af kobber og zink i landbrugsjord og gylle
- Kvalitetssikring, DCE: Susanne Boutrup
- Finansiel støtte: Miljøstyrelsen
- Bedes citeret: Bak, J.L., Jensen, J. & Larsen, M.M.2015. Belysning af kobber- og zinkindholdet i jord. Indhold og udvikling i kvadratnettet og måling på udvalgte brugstyper. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 72 s. - Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 159
<http://dce2.au.dk/pub/SR159.pdf>
- Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse
- Sammenfatning: Rapporten beskriver en undersøgelse af kobber- og zinkindholdet i dyrkningsjord, primært på bedrifter med svin og marker, der modtager svinegylle. Undersøgelsen omfatter dataindsamling på to niveauer (Kvadratnettet og ejendomme med forskellig driftsform). Der er desuden inddraget data fra tidligere undersøgelser på kvadratnet-punkterne. De indsamlede data er analyseret med statistiske metoder og modelberegning.
Tilførslen af kobber og zink med svinegylle har i perioden 1986-2014 øget koncentrationerne i jorden af de to metaller. Specielt indenfor den sidste måleperiode, 1998-2014, har stigningerne været markante med henholdsvis ca. 19 og 24 % stigning i jordkoncentrationer for kobber og zink. For zink er der fundet overskridelser af nul-effekt-niveauerne i 45 procent af de foretagne målinger. For kobber er der fundet overskridelser af nul-effekt-niveauerne i én måling. Det er beregnet, at en fortsættelse af den nuværende landbrugspraksis kan medføre en væsentlig stigning i andelen af arealer, hvor nul-effekt-niveauet for zink overskrides, selvom niveauet allerede er højt. For kobber kan der på længere sigt forventes overskridelser af nul-effekt-niveauet på i størrelsesorden 30-50 procent af arealerne, der modtager svinegylle. En fjerdedel af dette niveau kan være nået på 80 år.
- Emneord: Kobber, zink, jord, landbrug, svin, nul-effekt niveauer, PNEC
- Layout: Grafisk Værkted, AU Silkeborg
Foto forside: Foto: Michael Stjernholm
- ISBN: 978-87-7156-160-9
ISSN (elektronisk): 2244-9981
- Sideantal: 72
- Internetversion: Rapporten er tilgængelig i elektronisk format (pdf) som
<http://dce2.au.dk/pub/SR159.pdf>

Indhold

1	Forord	5
2	Summary	7
3	Indledning	9
4	Økotoksikologiske effekter af kobber og zink	13
5	Foretagne målinger	16
6	Statistisk behandling	19
6.1	Overskridelser af nul-effektniveauer for jord	19
6.2	Kvadratnettet	19
6.3	Ejendomme	23
6.4	Regioner	24
6.5	Model for jordens indhold af Cu og Zn	24
6.6	Model for sammenhængen mellem total Cu og - Zn og kobber- og zinktal	25
7	Modelberegninger	27
7.1	Landbrugspraksis	28
7.2	Model for indhold af kobber og zink i gylle	30
7.3	Resultater	32
8	Tilsvarende udenlandske undersøgelser	42
9	Diskussion	45
10	Konklusioner	50
11	Referencer	52
	Bilag 1. Prøvetagning og analyser	56
	Bilag 2. Jordprøver	59
	Bilag 3. Gylleprøver	70
	Bilag 4. Husdyrhold, ejendomme i LOOP, indberetning 2013 og 2014	71

[Tom side]

1 Forord

Miljøstyrelsen har gennem et udbudsbrev af 10/7, 2014 indhentet tilbud på to projekter vedr. belysning af kobber- og zinkindholdet i jord og husdyrgødning. Det ene projekt vedr. indhold og udvikling i Kvadratnettet, det andet vedr. måling på udvalgte brugstyper.

Opgaven i det første delprojekt er i udbuddet beskrevet således:

Kvadratnettet er et fastliggende net af prøvepunkter, der er fordelt i et kvadratnet med 7 km's afstand. Det omfatter punkter på ca. 640 landbrugsarealer og 150 naturarealer. Kvadratnettet blev etableret i 1987 af SEGES og er primært brugt til undersøgelse vedr. kvælstof i jord. På alle prøvepunkter registreres oplysninger om dyrkningspraksis hvert år, og resultaterne kan derfor anvendes til at beskrive udviklingen. Udbudsmaterialet foreskriver, at der skal udtages to jordprøver i hhv. øvre og mellemste jordlag i ca. 75 repræsentativt udvalgte kvadratnetpunkter, hvor der er foretaget målinger af kobber og zink i 1996. Der skal indsamles detaljerede dyrkningsoplysninger om landbrugspraksis. Niveauet og udviklingen i indholdet af kobber og zink belyses for forskellige jordtyper og driftsformer. Analyserne skal omfatte kobbertallet (Cut), Total-Cu, Zinktallet (Znt) og Total-Zn efter gældende anerkendte analysestandarder. Forskellen på totalanalyser og kobber-/zink-tal er oplukningen/ekstraktionen af prøverne. Dette er nærmere beskrevet i bilag 1.

Formålet med det andet delprojekt er, som beskrevet i udbudsmaterialet, at belyse indholdet af kobber og zink i jorden på bedrifter med søer + smågrise, slagtesvin og planteavl. Undersøgelsen foretages ved, at der måles kobber og zink på jordprøver, der alligevel udtages som led i landmandens gødningsplanlægning. Der foretages ca. 40 målinger af kobber og zink pr. bedrift (1. prøve pr. 5 ha). Målingerne skal omfatte hele ejendommen. Jordtypen angives af prøveudtageren. For Kvadratnettet og landovervågningsoplandene findes målte data. I mange tilfælde vil der også eksistere jordbundsdata for øvrige ejendomme. Der udtages 1 repræsentativ gylleprøve fra hver ejendom i forbindelse med omrøring af gyllebeholderen. Undersøgelsen foretages i 3 områder i landet, i hvert område vælges 3 ejendomme med søer + smågrise, 2 med slagtesvin og 2 med planteavl. Analyserne skal omfatte Cut og Znt efter gældende anerkendte analysestandarder. Analyse for Total-Cu og Total Zn medtages som option.

DCE, Aarhus Universitet, har fået til opgave at gennemføre begge delprojekter.

Arbejdet har været fulgt af en følgegruppe med deltagelse af Søren Wium-Andersen, Danmarks Naturfredningsforening, Kristian K. Brandt, Københavns Universitet, Leif Knudsen, SEGES, Jesper Bak, Århus Universitet, DCE, Birgitte Broesbøl-Jensen, Fødevarestyrelsen, Anette Ejersted, Miljøstyrelsen, Hans Kjær, Miljøstyrelsen, Iris Belinda Haastrup, Miljøstyrelsen og Peter Schaarup, Miljøstyrelsen.

Der er aftalt en samlet rapportering af de to delprojekter (denne rapport). I forhold til udbuddet er det aftalt at reducere antal af prøver pr. ejendom til i gennemsnit én pr. mark. Der er til gengæld udført totalanalyser af kobber og zink på alle prøver. Det er valgt at foretage en væsentlig del af prøvetagningen på ejendomme i landovervågningsprogrammet under NOVANA, hvor

der er detaljerede driftsoplysninger tilbage i tid. På disse ejendomme er der indsamlet én prøve pr. (del) mark, hvor der er driftsoplysninger.

Analysen af de indsamlede data er tilrettelagt mhp. at de to delprojekter sammen skal kunne give et billede af den aktuelle tilstand og udvikling i jordens indhold af kobber og zink, specielt for bedrifter med svin, og at der skal kunne foretages en analyse af sammenhængen heraf med driftsform/praksis, herunder i hvor stort omfang svinebrugene adskiller sig fra fx brug med planteavl. Det er endvidere søgt belyst, i hvor stort et omfang de aktuelle niveauer af kobber og zink i jord udgør et miljømæssigt problem og den forventede fremtidige udvikling ved en fortsættelse af den aktuelle landbrugspraksis.

Indholdet af kobber og zink i jorden på en given lokalitet vil afhænge af jordbund, tilførsler over tid, klima (primært nettonedbør) og arealanvendelse/dyrkningspraksis. Forskellige jorder vil have et forskelligt naturligt baggrunds niveau af metallerne. Tilførslen over tid vil, for den belyste problemstilling, primært afhænge af de tilførte mængder gylle og af gyllens indhold af metallerne. Der kan være en betydelig variation i udbringning af gylle på de enkelte arealer på en ejendom, og der kan forekomme såvel import som eksport af gylle fra ejendommen. Gyllens indhold af metallerne kan endvidere forventes at have forandret sig væsentligt over en 20-årig periode, bl.a. fordi EU strammede reglerne for anvendelse af kobber i 2003. Fraførslen af metaller med høstede afgrøder og som ud-/nedvaskning vil variere væsentligt som følge af forskelle i jord, landbrugspraksis og klimatiske forhold, primært nedbørsoverskud.

For at udnytte de indsamlede data bedst muligt er det (derfor) fundet væsentligt at anvende (mekanistiske) modeller i dataanalysen. Der er i de seneste år sket en kraftig udvikling af stofstrømsmodeller for tungmetaller til brug bl.a. for beregning af talegrænser for tungmetaller (Ashmore m.fl., 2004, de Vries m.fl., 2005). En lignende modeltilgang er foreslået i EU's 'Pre-Assessment of Environmental Impact of Zinc and Copper Used in Animal Nutrition' (Monteiro m.fl., 2010).

Der foretages modelberegninger på tre niveauer, hvor data fra Kvadratnettet, der beskriver udviklingen over tid, anvendes til modelparameterisering og kalibrering. Data fra landbrugsejendommene bruges til belysning af den spatiale variation på mindre skala (bedriftsniveau) og sammenhængen mellem brugstype, gylle- og jordkoncentrationer. Endelig foretages en landsdækkende modelberegning med anvendelse af landsdækkende data for gødningsanvendelse på markblok-niveau, jordbund, nettonedbør mm. Denne beregning er aggregeret på bedriftstyper: integrerede bedrifter (med søer, smågrise og slagtesvin), bedrifter med søer og smågrise, og bedrifter med slagtesvin.

Bedrifterne er kategoriseres efter følgende princip (jf. Christiansen, 2014):

- En slagtesvinebedrift = ingen søer
- Integreret bedrift = en ratio mellem slagtesvin på stald og søer > 1
- Sobedrift = en ratio mellem slagtesvin på stald og søer ≤ 1 .

2 Summary

This study is a targeted follow-up study to previous monitoring activities on heavy metals in Danish soils as reported in e.g. Bak et al. (1997) and Gräber et al (2005).

The study has focused on pig farms because it has been expected that use of zinc and copper in pig production can lead to elevated concentrations in soils fertilized with pig slurry. The study has used two levels of data collection and both statistical analysis and dynamic models for data analysis

One level of data collection has been fields, which are part of a national 7 x 7 km² grid-net established in 1987 by SEGES primarily to be used for regular monitoring of nitrogen balances. The concentrations of copper and zinc for a subset of points in this net belonging to pig farms have been monitored with soil samples collected in 1986, 1992, 1998, and 2014 (this study). Information on land-use and farming systems is available for all sites. The size of the sampling programs has varied in the specific sampling years, but measurements for two years or more exist for more than 100 points. It has thereby been possible to analyze trends for a 28 year period. A second level of data collection has been at 22 selected farms covering farms with weaner production, fattening pigs as well as farms with only crop production. For 12 of these farms, detailed historic information about agricultural practice on both farm and field level, e.g. fertilizer use, crop production etc., is known. Soil samples for all fields on these farms have been analyzed for copper and zinc. Dynamic model calculations have been used to make projections of the metal content in soils based on nationwide data for slurry application, soil types, net precipitation, crop rotations and crop yield.

The results are summarized in the Tables and Figures of this report, with table and figure texts in English. Furthermore, a short summary of the major conclusions are listed below.

- In summary, it is concluded that the study gives a good foundation for describing the actual level and trend in soil concentrations of copper and zinc, especially on farms with pig production. The study also permits an analysis of the relationship between the soil concentrations of copper and zinc and land-use and agricultural practices. Furthermore, data enables a comparison of current and (modelled) future soil concentrations with predicted no-effect concentrations (PNEC) for soil dwelling organisms. EU recommended PNEC values for soil organisms evaluated and published by ECHA are used.

The major conclusions of the report are:

- The agricultural use of pig slurry has led to a significant increase in soil concentrations of copper and zinc. A considerable variation of the increase in soil concentrations is observed from field to field as a result of differences in agricultural practice, soil type, crop, net precipitation etc., and, to a lesser degree, due to uncertainties in sampling and analysis.
- The predicted no-effect concentrations for soil dwelling species is exceeded for zinc in 45% of all soil samples, with the highest proportion on

sandy soils. For copper, only one sample exceeding the PNEC value has been found.

- The use of copper and zinc in animal feed and veterinary medicine has, in average over the period 1986-2014, increased soil concentrations in the range of 21-28 % for copper and 2-5 % for zinc. The increase in soil concentrations has, however, been markedly higher for zinc over the last sampling period (1998-2014), i.e. on average 24 %, whereas the increase in copper concentrations from 1998-2014 is comparable to the increase over the entire sampling period.
- A continuation of current agricultural practice is predicted to increase the number of fields exceeding the PNEC value for zinc significantly, although the current number is already relatively high. For copper, the PNEC value is in the future predicted to be exceeded on 30-50 % of the fields receiving pig slurry. A quarter of these within 80 years from now.
- The current use of zinc and copper in pig production may lead to leaching of metals, especially zinc, from fields fertilized with pig slurry in concentrations that may pose a risk to aquatic species. This aspect has not been an objective of the current study and should be investigated further.

3 Indledning

Tungmetaller har altid været en naturlig del af jordbunden og dets økosystemer, idet de findes i det geologiske materiale, hvorfra kemiske, fysiske og biologiske nedbrydningsprocesser bidrager til at frigive metallerne, så de kan optages af jordlevende dyr og planter

Jordbundens naturlige baggrundsindhold af metaller er på grund af den geologiske variation yderst variabelt, men jordsystemet kan betragtes som et lukket system i ligevægt, hvor dyr og planter er adapteret til områdets indhold af tungmetaller. Menneskelige aktiviteter har dog i nyere tid medført en global spredning af tungmetaller i det terrestriske miljø via atmosfærisk nedfald eller lokal forurening gennem fx affaldsprodukter og gødning.

For kobber og zink er der mange forskellige kilder til metallerne i landbrugsjord. En begrænset mængde, specielt for Cu, vil i dag komme via atmosfærisk nedfald. Andre kilder er fx handelsgødning, jordbrugskalk og spildevandsslam. Tidligere har pesticidanvendelse også bidraget. Handelsgødning med tilsat kobber anvendes oftest, hvor jorden er i mangel på kobber. En dansk analyse af metalindholdet i forskellige mineralske gødningsformer viste, at kobber og zinkindholdet i specielt NP-handelsgødning kunne være relativt højt, dvs. middel- og maksimumværdier på omtrent 100 og 293 mg kg⁻¹ ts (tørstof) for kobber og 425 og 625 mg kg⁻¹ ts for zink (Petersen m.fl., 2009). For dansk spildevandsslam viste de seneste målinger fra Miljøstyrelsen i 2009, at middelværdien for kobber var 210 mg kg⁻¹ ts, medens 5 og 95 % fraktilerne var 93 og 483 mg kg⁻¹ ts (Miljøstyrelsen, 2009).

Også i svinegylle finder man et betydende indhold af kobber og zink. Svin er en dyreart, som modsat fx får tåler store mængder af kobber, da de i tarmen kan producere metallothionein, der hjælper med til at kelatere, dvs. binde tungmetaller som kobber og zink (Martinez m.fl., 2004, 2005). Grises fysiologiske behov for kobber og zink angives traditionelt som 6 hhv. 100 mg pr. kilo foder (Tybirk m.fl., 2015, Hansen m.fl., 2005). Der er behov for ny og mere detaljeret viden om grises fysiologiske behov for zink og kobber, herunder hos dyr ved forskellig alder. Fuldfoder til smågrise op til 12 uger må således ifølge foderlovgivningen indeholde 170 mg kobber kg⁻¹, medens foder til svin over 12 uger højest må indeholde 25 mg kg⁻¹. Indholdet af zink i fuldfoder til smågrise og andre svin må være 150 mg kg⁻¹ (i foder med et vandindhold på 12 %). Grænseværdierne omfatter det indhold, der totalt må være i fuldfoderet (summen af den mængde, der tilsættes som tilsætningsstof og det indhold, der naturligt forekommer i de ingredienser, der i øvrigt indgår i foderet). Herudover kan dyrlægen, når der er problemer med fravænningsdiarré hos smågrise, ordinere foder med højt indhold af zinkoxid i en periode på 14 dage herefter. Den anbefalede dosering er i den forbindelse på 2500 mg zink pr. kg fuldfoder. Lavt optag af metallerne fra foderstoffer og mineralsuppleringskilder betyder, at grisene udskiller en meget stor del af det indtagne kobber og zink med gødningen. Således viste to danske undersøgelser (Møller m.fl., 2007, Knudsen & Nørgaard, 1995) et gennemsnitligt indhold på 485 og 600 mg kg⁻¹ ts af kobber og 752 og 900 mg kg⁻¹ ts af zink, medens en anden undersøgelse (Maribo & Poulsen, 1999) fandt et indhold på 448 og 981 mg kobber kg⁻¹ ts i gylle fra svin, der var givet foder med et indhold af kobbersulfat på hhv. 90 og 165 mg kg⁻¹ foder. Det aktuelle forbrug af kobber og zink i foder til svin i Danmark er oplyst af SEGES til Fø-

devarestyrelsen ifm. færdiggørelsen af dette projekt til ca. 1100 tons zink, heraf 414 t medicinsk zink og knap 300 tons kobber (Birgitte Broesbøl-Jensen, Fvst, pers. komm).

Danmarks Miljøundersøgelser undersøgte i 2002 som en del af Vandmiljøplanens Landovervågningsprogram forekomsten - og koncentrationsniveauerne af miljøskadelige stoffer i 45 gylleprøver fordelt på 17 fra kvæg, 8 fra økologiske kvæg, 17 fra svin og 2 fra blandede besætninger. Kobber blev fundet i alle prøver. Største værdi på 510 mg Cu kg⁻¹ ts blev fundet i svinegylle og mindste på 21 mg Cu kg⁻¹ ts i økologisk kvæggylle. Middelværdien for svinegylle var 263,3 ± 108,6 mg Cu kg⁻¹ ts. (Schwærter og Grant, 2003).

Der er tidligere gennemført en kortlægning af tungmetallindholdet i danske dyrknings- og naturjorder baseret på 393 prøver indsamlet på tilfældigt udvalgte punkter i Kvadratnettet i 1992-93¹ (Bak m.fl., 1997). Af disse prøver var 311 indsamlet på agerland, ca. 70 heraf på bedrifter med svin. Der blev foretaget analyser (efter DS 259) for 8 tungmetaller på prøver udtaget ned til 25 cm (for naturjorder 25 cm under det organiske lag). Ved rapporteringen af denne undersøgelse (i 1996) blev det konkluderet, at der var behov for opmærksomhed vedr. indholdet af specielt kobber, men også zink i landbrugsjord. Denne konklusion var primært baseret på en forventning til den fremtidige udvikling baseret på en stofstrømanalyse. For kobber var de fundne koncentrationer højere for landbrugsjorder end for naturjorder og skov (Tabel 1). Der var imidlertid en væsentlig jordtypeafhængighed, hvor de højeste koncentrationer blev fundet på øernes og Østjyllands lerholdige jorder. For zink var jordbundsafhængigheden så stor, at der ikke blev fundet signifikante forskelle mellem arealanvendelsesklasserne. De fundne koncentrationer på naturjorder lå væsentligt under koncentrationerne på dyrkningsjord, men det var ikke muligt at bestemme effekten af arealanvendelsen pga. forskelle i jordbund mellem grupperne. (Jensen m.fl., 1996).

En opfølgende undersøgelse i 1998 koncentrerede sig om bedrifter med svin og var følgelig ikke repræsentativ for danske jorder som sådan. Undersøgelsen omfattede 73 prøvetagningspunkter, hvoraf de 60 var tildelt forskellige mængder af svinegylle og handelsgødning, og 13 punkter udelukkende var tildelt handelsgødning. Jordprøver blev udtaget i 3 dybder, 0-25, 25-50 og 50-75 cm og analyseret for total Cu, total Zn (Cu og Zn ekstraheret efter DS 259²), og plantetilgængeligt kobber og zink (Cut og Znt). Cut og Znt blev bestemt som den del af metalindholdet, der kunne ekstraheres med det metalbindende stof kaldet EDTA. Jordkoncentrationer for 47 kvadratnettpunkter med tildelelse af varierende mængder af svinegylle blev sammenlignet med koncentrationer i prøver fra 1986. Undersøgelsen viste for de to øverste lag en sammenhæng mellem den udbragte gødningsmængde og stigning i koncentrationerne af kobber og zink. Der blev desuden fundet en stigning i de gennemsnitlige kobberkoncentrationer fra 1986 til 1998 (Tabel 2). Der blev også ved rapporteringen af denne undersøgelse peget på behovet for at følge den tidsmæssige udvikling i koncentrationerne af kobber og zink (Hansen, 2005).

¹ Kvadratnettet er et landsdækkende 7x7 km² net, oprettet og drevet af SEGES, hvor der indsamles oplysninger om landbrugsdrift, indsamles prøver mv.

² Total Cu og total Zn anvendes i rapporten for Cu og Zn analyseret efter DS 259. Der vil være en ældet fraktion af kobber og zink, der ikke findes ved denne analyse. Total koncentrationerne efter DS 259 vurderes at være den koncentration, det er mest relevant at sammenholde med nul-effekt niveauer (PNEC).

Begge undersøgelser peger på, at der vil være behov for at følge udviklingen i jordens indhold af kobber og zink, specielt på bedrifter med svin, og især den del af svineproduktionen, der har specialiseret sig i produktionen af smågrise, der relativt hurtigt tages fra soen og sælges videre til opfedning. Undersøgelserne viser imidlertid også, at indsamling og tolkning af data ikke er trivielt. Undersøgelsen fra 1998 viste således lavere zinkkoncentrationer i 1998 end i 1986, hvilket ikke kunne tolkes meningsfuldt med det anvendte datagrundlag og de anvendte metoder.

Ud over de nævnte undersøgelser foretages der Cut analyser på et stort antal prøver (ca. 9000) hvert år som et led i bedrifternes almindelige gødningsplanlægning. Cut målingerne bliver primært udført, hvor der er mistanke om kobbermangel, og disse tal kan derfor ikke anvendes til at vurdere udviklingen i jordens indhold af kobber. Det kan desuden bemærkes, at Cut og Znt analyserne er billige, men ikke velegnede til at belyse miljøproblemer i forbindelse med jords indhold af kobber og zink. Dette skyldes primært, at publicerede effektstudier og metoder sjældent er baseret på Cut og Znt værdier, og Cut og Znt tal ikke direkte kan sammenholdes med eksisterende (økotoksikologiske) vurderingskriterier. Der kan dog opstilles jordafhængige overførselsfunktioner (se afsnit vedr. statistisk behandling). Kobber- og zinktallene er en mindre og mere plantetilgængelig fraktion end totaltallene, og kunne derfor være mere følsom for ændring i praksis og tættere relateret til nogle økotoksikologiske effekter. Der er imidlertid et begrænset grundlag i den videnskabelige litteratur til at belyse disse forskelle.

Resultater fra de tidligere undersøgelser er sammenfattet i Tabel 1 og 2. Hvor andet ikke angives i resten af rapporten, er jordkoncentrationer opgivet i mg kg^{-1} tørstof.

Tabel 1. Kobber- og zinkindholdet (mg kg^{-1} tørstof) i danske jorder indsamlet i 1993 opgivet som medianværdier og 5 % og 95 % fraktiller (mg kg^{-1}). Desuden er medianer angivet for hver af arealanvendelserne. N = antal af prøvefelter (Jensen m.fl., 1996).

Table 1. Total copper and zinc concentrations (mg kg^{-1} dry weight) in Danish soils sampled in 1992. Data is shown as median, 5% and 95% percentiles. Furthermore, median values in soil concentrations are presented for: Arable land (Agerland), Sewage sludge fertilized fields (Slamtilførte marker), nature (naturarealer) and forest (skove). The total number of samples was 394 (Jensen et al, 1996).

	Cu	Zn
Samlet (N=394)	6,9	25,7
5% fraktil	0,6	6,0
95% fraktil	15,0	59,3
Agerland (N=308)	7,7	29
Slamtilførte marker(N=20)	10,3	33
Naturarealer (N=14)	0,9	8,0
Skove (N=67)	2,8	20,0

Tabel 2. Gennemsnitsværdier for kobber og zink (mg kg^{-1} tørstof) i jorden i 1986 og 1998 rapporteret af Hansen m.fl., 2005. I analysen indgår 47 punkter med svinegødning og 11 punkter med handelsgødning. Cu og Zn er total koncentrationer, Cut og Znt er kobber- og zinktal, dvs. analyser på EDTA oplukkede prøver.

Table 2. Mean copper and zinc concentrations (mg kg^{-1} dry weight) in soil samples collected in 1986 and 1998 and reported by Hansen et al (2005). These surveys include 47 fields fertilized with pig slurry and 11 fields fertilized with mineral fertilizers. Cu and Zn are total concentrations extracted according to DS 259; Cut and Znt are EDTA-extracted concentrations.

	Dybde	Cu 86	Cu 98	Cut 86	Cut 98	Zn 86	Zn 98	Znt 86	Znt 98
Svinegødning	0-25	8,2	9,6	2,4	3,0	36,6	32,9	5,7	4,6
	25-50	6,2	7,4	1,2	1,7	32,2	28,9	2,8	2,2
Handelsgødning	0-25	7,0	7,7	1,7	1,8	33,0	27,3	4,5	2,1
	25-50	4,9	6,7	0,9	1,3	31,2	25,3	3,2	1,3

4 Økotoksikologiske effekter af kobber og zink

Tungmetaller som kobber og zink er toksiske selv i lave koncentrationer (mg kg^{-1}). Giftigheden skyldes ofte, at de kan erstatte andre metaller i enzymer og derved forhindre enzymets normale funktion i cellen. Kobber kan tillige påføre levende celler et oxidativt stress, fordi det fremmer dannelse af frie iltradikaler i cellerne.

Danske undersøgelser har desuden vist, at der foreligger en risiko for, at der eksisterer et samspil mellem kobber- og antibiotikaresistens, idet kobberresistente bakterier isoleret fra kobberforurenede områder er markant mere resistente overfor en række almindelige antibiotika (Brandt mfl., 2010, Berg mfl., 2010). Der er også vist en sammenhæng mellem zinkresistens og resistens for andre antibiotika, således at der er flere multiresistente *E. coli* blandt zinkeksponerede bakterier (Bednorz mfl., 2013). Samtidig er både kobber og zink essentielle næringsstoffer og skal derfor være til stede i passende koncentrationer, for at mikroorganismer, dyr og planter kan trives.

Kobber bindes stærkt til jordens partikler via bindingsprocesser og udfældningsreaktioner, medens zink bindes mindre hårdt. Der er dog jordbundsforskelle. Bindingen af begge metaller er pH-afhængig og tilskrives primært organisk stof og oxider. Kobber danner desuden villigt komplekser med organisk stof i opløsning. Dette betyder, at det i porevandet ofte kun vil være en mindre del af kobberet, der findes som Cu^{2+} og fx hydroxy- og karbonatkomplekser. Tilførslen af gylle til jorden kan således potentielt have væsentlig indflydelse på jordens evne til at tilbageholde metaller som Cu og Zn, idét såvel jordens pH som jordens indhold af organisk stof påvirkes. Mere organisk stof i jorden vil øge bindingen, medens en øgning af opløst organisk stof via dannelse af Cu-DOM³ komplekser kan øge mobiliteten.

Som et simpelt og effektivt redskab til at vurdere eventuelle risici af miljøfarlige stoffer som kobber og zink har diverse myndigheder udviklet miljøkvalitetskrav eller kriterier. Fælles for alle er, at de har som mål at beskytte dyr, planter og jordbundsprocesser mod skadelige effekter.

I Danmark findes et sæt økotoksikologiske jordkvalitetskriterier for kobber og zink fra 1995, der er udledt på baggrund af den viden og de metoder, man havde på daværende tidspunkt (Miljøstyrelsen, 1995). Langt senere har også EU som en del af deres kemikalieevaluering foreslået sikre såkaldte nul-effekt-værdier⁴ for kobber og zink i jord. Disse er ikke direkte sammenlignelige med nationale kvalitetsmål, men er dog fastlagt efter de samme overordnede principper i et mere moderne regi, hvor mængden af data og metoder er markant forbedret (EU, 2008, EU, 2010). Som en del af arbejdet med risikovurdering af kobber og zink i foderstoffer har det Europæiske fødevareagentur (EFSA) også foreslået en grænseværdi eller såkaldt nul-effekt-koncentration (PNEC) for kobber og zink i jord (EFSA, 2010). De danske jordkvalitetskriterier er udviklet 20-25 år tidligere end EU og EFSA fastsatte PNEC-værdier, og det er vurderet, at de danske jordkvalitetskriterier ikke er tilstrækkeligt opdaterede / i overensstemmelse med nutidens stan-

³ DOM = Dissolved Organic Matter

⁴ PNEC = Predicted No Effect Concentration (PNEC)

dard, hvorfor EU værdier er anvendt i denne rapport som vurderingskriterier (Tabel 3). Kriterierne for kobber publiceret i henholdsvis EU-REACH- og EFSA-regi er ikke officielle kvalitetsmål fra EU, men resultatet af henholdsvis et industridrevet frivilligt arbejde imellem medlemslandene og en eksternt rapport bestilt af EFSA.

Kriterierne er alle fastsat på baggrund af laboratoriedata baseret på studier, der som oftest er udført i jord, hvor kobber og zink tilføres umiddelbart før opstart af den økotoksikologiske test. Der er med andre ord ikke tale om metaller, der har ældet i jorden over tid. Det anbefales derfor i mange sammenhænge, at disse kriterier bruges som et mål for den maksimalt acceptable tilførte mængde metal, idet det forventes - og også til dels er dokumenteret - at det naturlige baggrundsniveau samt kobber og zink, der er langtidældet i jorden, er mindre biotilgængeligt og derved også mindre giftigt. Kriterierne skal sammenholdes med de målte værdier, der i denne rapport er kaldt totalkoncentrationer (efter DS 259), der ikke måler den ældede fraktion. Størrelsen af den ældede fraktion er vist på Figur 15.

Nul-effekt koncentration (PNEC-værdien) for kobber er fastsat som en jordtypeafhængig totalkoncentration både i EFSA- og REACH-regi, hvorimod begge anbefaler en PNEC-værdi for zink som tilført værdi udover den naturlige baggrundskoncentration, der er jordtypeafhængig. PNEC-værdierne er derved begge jordtype afhængige. I denne rapport er der for kobber anvendt PNEC-værdier for to typer af jorder. Nul-effekt-værdierne og jordtyper er angivet i Tabel 3. Det skal yderligere nævnes, at medens der er opnået konsensus i EU om nul-effekt koncentration for zink, så har det ikke været muligt at opnå konsensus i EU-kredsen om kobber. Værdierne på 89 og 25,6 mg kg⁻¹ i Tabel 3 for to Europæiske jordtyper bygger på en beregning, hvor der ikke er indlagt nogen sikkerhedsfaktor, hvilket ikke er i overensstemmelse med den generelle praksis i mange lande, herunder Danmark. EU rapporten beregnede også en nul-effekt-værdi, der ikke var jordtypenormaliseret, men alene var baseret på de tilgængelige økotoksikologiske data. Her blev fundet et nul-effekt niveau på 51,9 mg Cu/kg, stadig uden brug af sikkerhedsfaktorer. For zink er der i REACH-regi anvendt en sikkerhedsfaktor på 2 for jordbundsdyr og planter og på 1 for mikrobielle processer.

PNEC-værdien for zink er som nævnt beregnet som den tilførte koncentration, der ikke har miljømæssig effekt. For at opnå et sikkert nul-effekt niveau skal denne værdi summeres med baggrundskoncentrationen. I EFSA rapporten er de beregnede PNEC værdier fundet ved at bruge lokale data interpoleret fra en større europæisk geologisk database (FOREGS). I denne rapport er baggrundskoncentrationen af zink fastsat som koncentrationen i henholdsvis ler- og sandjorder lokaliseret på natur- og skovarealer baseret på kvadratnetsundersøgelsen fra 1992 (Bak m.fl., 1997) (Tabel 3).

De anbefalede PNEC værdier er forholdsvis nye og dermed ikke indarbejdet i dansk regulering. Som sammenligning kan fx anvendes slam bekendtgørelsens (BEK nr. 1650 af 13/12/2006) grænse for indhold i jord, hvor der udbringes affaldsstoffer, der er 40 mg kg⁻¹ for kobber og 100 mg kg⁻¹ for zink, uden differentiering efter jordtype, eller tidligere danske jordkvalitetskriterier, der var 30 mg kg⁻¹ for kobber og 100 mg kg⁻¹ for zink.

Rapporten fokuserer (jf. forord) på sammenhænge mellem udbringning af svinegylle og heraf følgende ændringer i jordkoncentrationer, og der er derfor ikke anvendt kriterieværdier for andre dele af miljøet.

Tabel 3. Baggrundskoncentrationen (median, total) af zink og kobber (koncentrationer på danske naturjorder) samt nul-effekt niveauer (Predicted No-Effect Concentration) eller lignende publiceret af EU og EFSA (mg kg⁻¹). Flere detaljer om jordtyper m.m. fremgår af teksten ovenfor.

Table 3. Background concentrations (mg kg⁻¹ dry weight, median value) of copper and zinc as measured in Danish nature- and forest soils (see Table 1) and the Predicted No Effect Concentrations (PNEC, mg kg⁻¹ dry weight) published by EFSA and EU in the context of REACH. The PNEC used in this report is the EU PNEC separated into two soil types, clay (ler) and sand (sand). The PNEC value for Zn is based on a PNEC value published by EU as added soil concentration and the Danish background concentration in nature and forest soils, i.e. $PNEC = PNEC_{added} + Bg. Conc.$

Oprindelse	(mg kg ⁻¹)	Zn, ler	Zn, sand	Cu, ler	Cu, sand
Koncentration på danske natur- og skovjorder [*]		37	10,1	5,5	1,4
EFSA (2010) ^{1**}		121	31	67	36
EU-REACH (2010, 2008) ^{2***}		26	26	89	25,6
Nul-effekt niveau i denne undersøgelse ^{****}		63	36	89	25,6

¹ EFSA 2010; ² EU 2008, 2010

^{*} For zink er baggrundskoncentrationen i sandjorder angivet som en vægtet medianværdi fra 14 naturarealer og 45 skovarealer, mens den på lerjorder er medianen fra 18 skovjorder, idet der ikke er fundet data fra naturarealer på lerjorder. (Bak m.fl., 1997)

^{**} inkl. estimerede baggrundskoncentrationer for zink og kobber. Jordtyper er en sandet jordtype lokaliseret ved Ringkøbing (ler 4 %, OM 3.2 %, pH 4.3) og en leret jordtype fra lokaliteten Skousbo ved Roskilde (ler 12% og OM 2,6%. pH 7,4)

^{***} For zink er der i REACH-regi fastsat et jordtypeuafhængigt nul-effektniveau, mens at det for kobber er fast for en række scenarier og jordtyper. Her er resultatet præsenteret for en svensk sandjord (ler 7%, OM 2.8% og pH 4.8) – 25.6 mg Cu/kg - samt for en Hollandsk lerjord (ler 26 %, OM 2.2 % og pH 7.5) – 89 mg Cu/kg

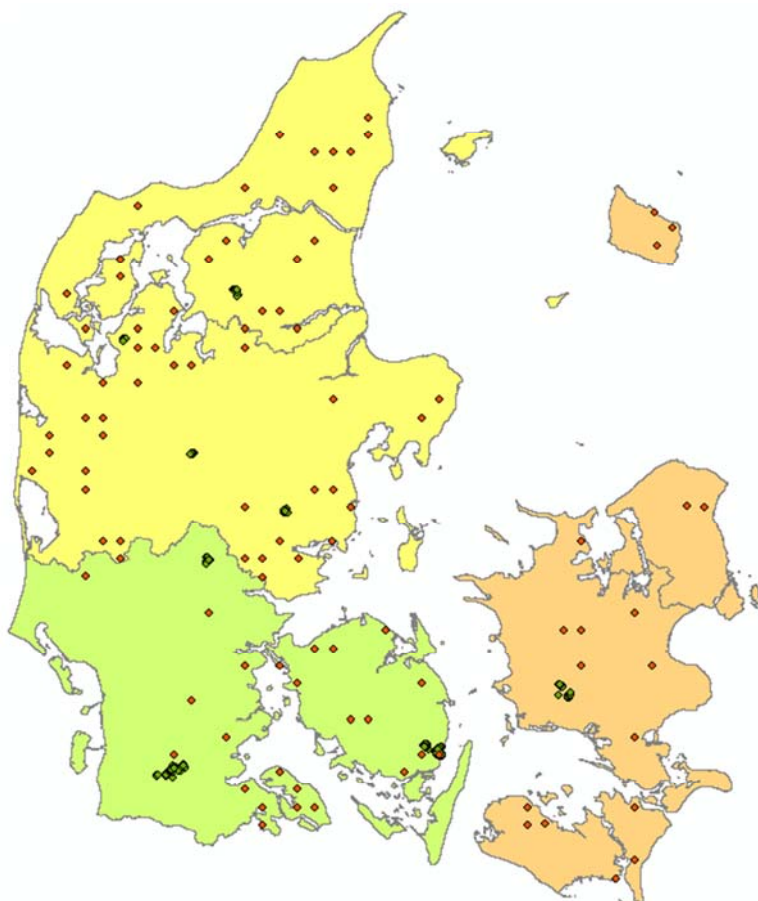
^{****} Værdien er for zink en summering af EU-REACH værdien og baggrundskoncentrationen i danske natur- og skovjorder.

5 Foretagne målinger

Prøvetagningsprogrammet omfatter en række punkter i Kvadratnettet og prøvetagning fra marker og gylletanke på et antal landbrugsejendomme. Den geografiske fordeling af indsamlingsprogrammet er illustreret på Figur 1. Punkter i Kvadratnettet er indtegnet med rødt, prøvetagning på landbrugsejendomme med grønt.

Figur 1. Målepunkter i 2014. Røde punkter viser, hvor der er udtaget prøver i Kvadratnettet, grønne punkter viser de undersøgte marker (landbrugsejendomme). Regionerne Nord- / Midtjylland, Syd, samt Sjælland / Hovedstaden, der er anvendt til at undersøge for regionale forskelle, er indtegnet med forskellige farver.

Figure 1. Sampling points in the 2014 survey. Red spots show samples taken within the national sampling grid, green spots show sampling points in the farm-specific sampling campaign. Samples are split into three regions of Denmark.



Der har i alt været målte data til rådighed fra 105 punkter i Kvadratnettet fra prøvetagningen i 1998, hvor der også blev foretaget analyser på gemte jordprøver fra 1986. DCE har til brug for den her rapporterede undersøgelse modtaget analyseresultater fra undersøgelsen i 1998 (og 1986) fra SEGES (Hans S. Østergaard, pers. komm.). Derudover er oplysninger vedr. jordbundsforhold, afgrøder, gødningstildelinger, mv. for de enkelte kvadratspunkter stillet til rådighed for undersøgelsen.

Der er et overlap med undersøgelsen i 1992, så der er data til rådighed for 45 af de samme punkter fra denne undersøgelse. I den her rapporterede undersøgelse er der taget prøver på 73 punkter udvalgt tilfældigt blandt de 105 punkter med data til rådighed fra 1998. Det skal bemærkes, at de tidligere rapporterede værdier fra 1998 undersøgelsen (Tabel 2) kun omfatter en del af de 105 punkter, der er data fra. Det vides ikke, hvordan disse punkter er udvalgt i den tidligere rapportering (Hansen m.fl., 2005, Gräber m.fl., 2005). Jordprøverne er ved undersøgelsen i 1986 og 1998 udtaget af SEGES, ved

undersøgelsen i 1992 af det daværende Danmarks Miljøundersøgelser, og for denne undersøgelse af 5 regionale landbrugsrådgivningscentre. Der er anvendt samme prøvetagningsmetode (bilag 1) for alle årene. Der forventes ikke at ligge en ekstra usikkerhed eller mulig bias i, at prøvetagningen for denne undersøgelse er foretaget af landbrugscentre. Selvom en prøvetager mod forventning skulle ønske at påvirke undersøgelsen i en bestemt retning, vil det i praksis være svært at påvirke resultatet. Analyser for total Cu og total Zn er for alle årene foretaget efter DS 259.

Indsamlingsprogrammet for landbrugsejendomme har omfattet 22 landbrugsejendomme, 6 planteavlere, 8 ejendomme primært med søer og smågrise, og 8 ejendomme primært med slagtesvin. Sammensætning af besætningerne på de enkelte ejendomme kan findes i bilag 4. Det har været forsøgt i størst muligt omfang at finde det nødvendige antal ejendomme indenfor landovervågningsprogrammet (LOOP) i NOVANA, fordi det dermed vil være muligt at inddrage data vedr. landbrugspraksis, jordbundsforhold mm fra dette program. Der har imidlertid ikke kunnet findes producenter af smågrise og kun 6 producenter af slagtesvin indenfor programmet. LOOP ejendommene er derfor suppleret med et antal (11) ejendomme udenfor oplandene. Disse ejendomme er tilfældigt udvalgt på basis af GLR registret, idet små producenter (< 100 ha, < 1000 svin) er sorteret fra. Ejendomsundersøgelsen har omfattet 132 marker fra ejendomme med smågrise og søer, 142 marker fra ejendomme med slagtesvin, og 94 marker fra planteavlere.

Da undersøgelsen først kom i gang forholdsvis sent på året, har det i nogle tilfælde været vanskeligt at få udtaget en repræsentativ gylleprøve. De fundne koncentrationer af kobber og zink i gylle er 563 ± 352 mg kg⁻¹ ts kobber og 2.629 ± 1.927 mg kg⁻¹ ts zink baseret på 11 prøver.

Tabel 4, 5 og 6 giver et overblik over de fundne værdier i jord (middelværdier og standardafvigelse). For kvadratnetpunkterne er der foretaget en sammenstilling med tidligere fundne værdier i 1998, 1992 og 1986 for to jordlag (et for 1992). Der er kun medtaget punkter, hvor der er målinger for flere år. Undersøgelsen dette år og de tidligere år omfatter både analyser for total Cu og Zn og analyser for kobber- og zinktal foretaget på EDTA ekstraherede prøver (se bilag 1), for 1992 dog kun totalanalyser. For 1998 og 1986 er der også foretaget analyser på prøver oplukket med 0,5% salpetersyre. Disse resultater er medtaget for fuldstændighedens skyld.

Tabel 4. Analyseresultater (mg kg⁻¹, gennemsnit og standardafvigelse) for det øverste lag (0-25 cm) for punkter i Kvadratnettet. Cu og Zn er total analyser, medens Cut og Znt er kobber- og zinktal (EDTA ekstraherede prøver). Cu_0,5% og Zn_0,5% er analyseresultater for prøver oplukket med 0,5 % salpetersyre.

Table 4. Soil concentrations (mg kg⁻¹ dry weight, average and standard deviation) for the upper 25 cm of soils with samples collected within the national sampling grid. Cu and Zn are total concentrations extracted according to DS 259; Cut and Znt are EDTA-extracted concentrations, whereas Cu_0,5% and Zn_0,5% are concentrations measured after extraction with 0.5 % nitric acid.

	1986			1992			1998			2014								
	Cu	Cut	Cu_0.5%	Zn	Znt	Zn_0,5%	Cu	Zn	Cu	Cut	Cu_0.5%	Zn	Znt	Zn_0,5%	Cu	Cut	Zn	Znt
mean	7,9	2,2	3,4	36,7	5,9	10,0	8,6	33,9	9,2	2,7	4,2	32,3	3,9	6,4	11,7	3,2	47,7	8,1
stdv	2,5	0,9	1,2	19,6	7,8	10,3	2,4	13,4	3,0	1,1	1,6	15,7	2,5	3,5	3,9	1,6	14,2	5,9
n	103	92	76	105	95	74	45	45	105	105	105	105	105	105	70	71	70	71

Tabel 5. Analyseresultater (mg kg⁻¹, gennemsnit og standardafvigelse) for det nederste lag (25-50 cm) for punkter i Kvadratnettet. Cu og Zn er total analyser, medens Cut og Znt er kobber- og zinktal (EDTA ekstraherede prøver). Cu_0,5% og Zn_0,5% er analyseresultater for prøver oplukket med 0,5 % salpetersyre.

Table 5. Soil concentrations (mg kg⁻¹ dry weight, average and standard deviation) for the lower 25 cm, i.e. 25-50 cm, of soils with samples collected within the national sampling grid. Cu and Zn are total concentrations extracted according to DS 259; Cut and Znt are EDTA-extracted concentrations, whereas Cu_0,5% and Zn_0,5% are concentrations measured after extraction with 0.5 % nitric acid.

	1986						1998						2014			
	Cu	Cut	Cu_0.5%	Zn	Znt	Zn_0.5%	Cu	Cut	Cu_0.5%	Zn	Znt	Zn_0.5%	Cu	Cut	Zn	Znt
mean	6,1	1,2	2,7	31,2	3,0	5,4	7,5	1,6	2,7	28,6	2,0	3,9	9,4	1,8	41,5	5,6
stdv	3,6	0,8	6,6	20,4	5,9	7,2	3,3	0,7	1,1	15,5	1,4	2,6	4,4	1,1	17,8	5,8
n	103	92	76	105	95	74	45	45	105	105	105	105	67	71	67	71

Tabel 6. Analyseresultater (mg kg⁻¹, gennemsnit og standardafvigelse) for prøver udtaget på marker fra de 22 undersøgte landbrugsejendomme (0-25 cm). Cu og Zn er total analyser, medens Cut og Znt er kobber- og zinktal (EDTA ekstraherede prøver).

Table 6. Soil concentrations (mg kg⁻¹ dry weight, average and standard deviation) for the upper 25 cm of soils; samples collected within the farm-specific survey.

	Planteavl (6 ejd.)				Slagtesvin (8 ejd.)				Smågrise (8 ejd.)			
	Cu	Zn	Cut	Znt	Cu	Zn	Cut	Znt	Cu	Zn	Cut	Znt
mean	10,6	43,0	2,76	5,52	12,0	50,8	3,54	7,49	13,1	46,4	3,96	8,86
stdv	3,6	12,20	1,52	3,70	5,4	17,4	1,87	5,28	4,4	17,5	1,78	5,01
n	89	89	94	94	132	132	142	142	123	123	132	132

6 Statistisk behandling

6.1 Overskridelser af nul-effektniveauer for jord

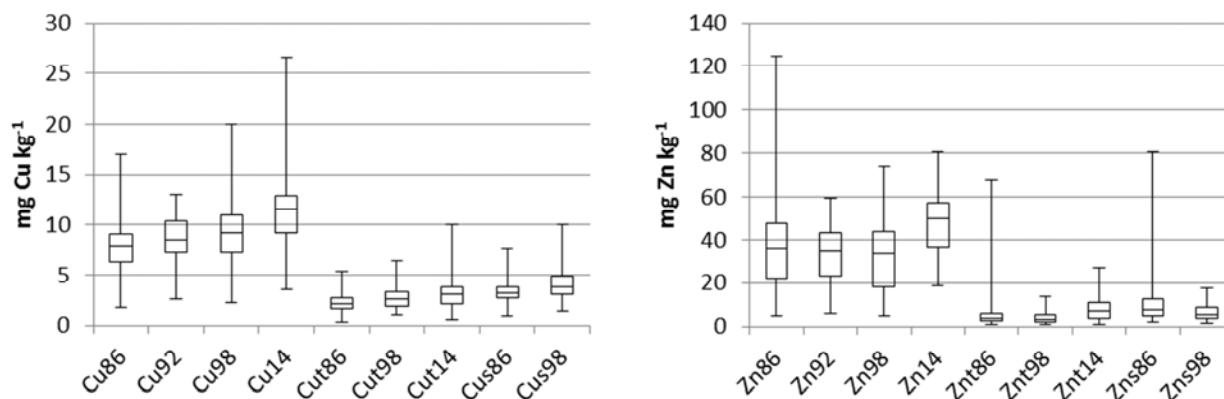
For zink viser en sammenligning mellem de i 2014 fundne koncentrationer og de foreslåede nul-effektniveauer, at de fundne koncentrationer overskrider nul-effektniveauet for ca. 45 % af de foretagne målinger. For Kvadratnettet er der fundet overskridelser for 51 % af de sandede jorder og for ca. 21 % af de lerede jorder. I ejendomsundersøgelsen er der fundet overskridelser af nul-effektniveauet for zink for ca. 68 % af de sandede jorder og 12 % af de lerede jorder. For kobber er der i kvadratnetsundersøgelsen fundet én måling, der overskrider nul-effektniveauet. Der er ikke i ejendomsundersøgelsen fundet overskridelser af nul-effektniveauet for kobber.

Der er i denne undersøgelse kun fundet én måling, der overskrider nul-effektniveauet for kobber, og dette er et forholdsvis beskedent grundlag for at vurdere det mulige areal med overskridelser på landsplan. En mulig størrelsesorden er vurderet ved at fitte (maximum likelihood) en gammafordeling til fordelingen af målinger på sandjorder. Den fittede fordeling (shape = 8,58, rate = 0,814) viser en sandsynlighed på 0.00081 for, at niveauet overskrides på en mark, svarende til overskridelse på i størrelsesordenen 30 markblokke på landsplan.

6.2 Kvadratnettet

Figur 2 giver et overblik over de fundne forskelle fra år til år (min-maks, samt 25-, 50- og 75 percentilværdier). Der er som ventet store forskelle mellem de fundne koncentrationer afhængigt af den anvendte opluknings-/ekstraktionsmetode. For Cu ses en stigning fra 1986 til 2014. Der kan ses en svag tendens til, at stigningstakten er faldende, men datamaterialet rækker ikke til at teste dette. For Zn ligger 2014 værdierne over de tidligere værdier. Billedet er dog som tidligere nævnt lidt blandet, idet prøverne analyseret i 1998 viste et fald for total Zn fra 1986 til 1998.

Tabel 7 sammenfatter udviklingen i middelkoncentrationer fra 1986 til 1998 og fra 1998 til 2014. Det skal bemærkes ved sammenligning med Figur 2, at middel- og mediankoncentrationerne ikke er ens. Der ses signifikante stigninger i middelkoncentrationen af total Cu og Cut fra 1986 til 1998 og fra 1998 til 2014, medens der ses et signifikant fald i Zn og Znt fra 1986 til 1998 og en signifikant stigning til 2014. Der er foretaget en supplerende beregning, hvor der er fjernet 'outlier' værdier, dvs. afvigende værdier/punkter, hvor udviklingen ikke kan forklares ud fra den maksimalt forventede til- eller fraførsel. Der er anvendt et 99 % interval baseret på modelberegningerne beskrevet i de følgende afsnit. De beregnede udviklingstendenser ses at være forholdsvis robuste i forhold til 'outlier' værdier, der fx kan være opstået som følge af lokal forurening. Øvrige analyser i rapporten er baseret på det samlede datasæt.



Figur 2. Målte værdier (mg kg^{-1}) i det øverste lag (0-25 cm) for kvadratnetsundersøgelsen for 1992, undersøgelsen i 1998 (der også omfattede prøver fra 1986) og nærværende undersøgelse i 2014. Cu og Zn er total analyser, medens Cut og Znt er kobber- og zinktal (EDTA ekstraherede prøver). Cus og Zns er analyseresultater for prøver oplukket med 0,5 % salpetersyre. Figuren viser min-maks, samt 25-, 50- og 75 percentilværdier.

Figure 2. Measured concentrations (mg kg^{-1}) in the upper 25 cm of the soil from three different sampling campaigns, 1992, 1998 (including data from 1986) and 2014 within the national sampling grid. Cu and Zn are total concentrations extracted according to DS 259; Cut and Znt are EDTA-extracted concentrations, whereas Cus and Zns are concentrations measured after extraction with 0.5 % nitric acid. Data is shown as minimum-maximum and 25, 50 and 75 percentiles.

Tabel 7. Udviklingen (% ændring) i middelkoncentrationer fra 1986 til 1998 og fra 1998 til 2014 baseret på prøver fra Kvadratnettet (øverste jordlag).

Table 7. Change (%) in mean soil concentrations from 1986-1998 and 1998-2014. All data is from the upper 25 cm of soils with samples collected within the national sampling grid.

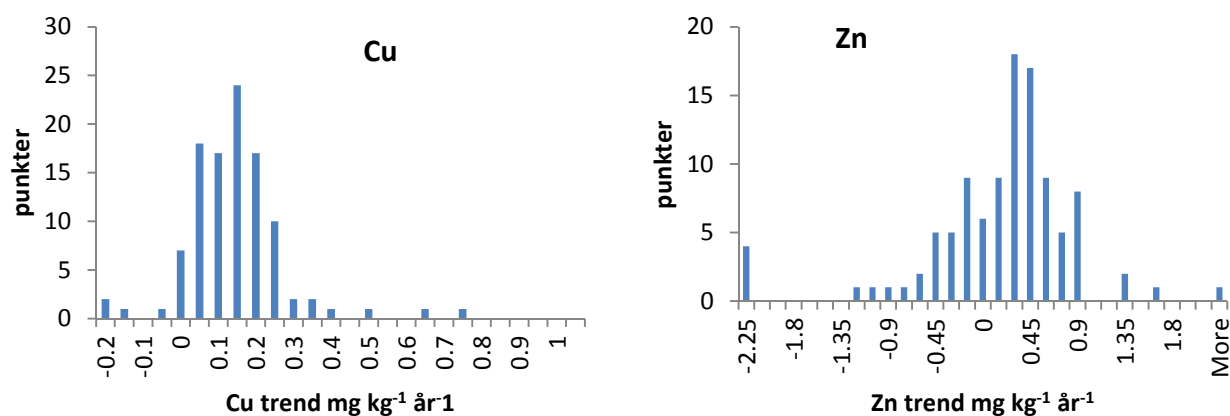
	Baseret på alle prøver						Resultat med fjernelse af 'outliers'					
	1986 - 1998			1998-2014			1986 - 1998			1998-2014		
	%	p	n	%	p	n	%	p	n	%	p	n
Cu	13,7 [*]	5,7e-11	103	18,6 [*]	4e-8	70	12,5 [*]	1e-15	97	16,1 [*]	3e9	68
Cut	15,6 [*]	1,0e-6	92	29,9 [*]	5e-8	63						
Zn	-13,7 [*]	0,0007	105	23,9 [*]	6e-18	70	-9,81 [*]	0,0002	99	22,7 [*]	3e-18	68
Znt	-47,9 [*]	0,008	95	51,7 [*]	1e-7	71						

^{*}signifikant.

Det forventes ikke at være muligt at differentiere nærmere mellem udviklingstendenser for forskellige perioder, bl.a. fordi udviklingen i gyllens indhold af kobber og zink over tid ikke er tilstrækkeligt kendt. Variationen i udviklingstendenser for enkelte punkter/marker forventes desuden at være mere interessant, fordi det navnlig er på de mest belastede arealer, der vil kunne opbygges koncentrationer, der er problematiske, fx i forhold til PNEC værdier. Der er derfor foretaget en analyse, hvor udviklingstendensen for hele perioden er forsøgt estimeret ved anvendelse af alle tilgængelige målinger. Der er i gennemsnit 2,8 målinger pr. punkt, hvis alle målinger fra 1986, 1992, 1998 og 2014 anvendes. Figur 3 viser fordelingen i udvikling ($\text{mg kg}^{-1} \text{ år}^{-1}$) i jordens indhold af total kobber og zink estimeret fra de målte data. Trenden er beregnet ved lineær regression for alle punkter, hvor to eller flere målte værdier er til rådighed. Det skal bemærkes, at kvadratnetsundersøgelsen omfatter både bedrifter med- og bedrifter uden svin. Bedriftstyperne har imidlertid ikke været kendt for de enkelte punkter, og det har ikke været muligt at foretage en opdeling, idet også punkter/marker på planteavlbrug over årene har modtaget en vis mængde svinegylle (se fordelingen af gødningstildelinger på Figur 4).

Som det fremgår, er der en betydelig variation, hvor der er en negativ trend på nogle arealer (specielt for zink) og en stigende trend på andre. Dette kunne lede til en antagelse om, at andelen af arealer, der overskrider PNEC værdierne for zink, vil være forholdsvis konstant fremover. Det vil imidlertid ikke være tilfældet, fordi udviklingstendenserne er korreleret med jordkoncentrationerne (ikke vist), så jordens indhold er størst på de punkter, hvor de største stigninger findes. Der ses således kun en negativ trend i koncentrationer på 8 % af de punkter, hvor PNEC værdierne overskrides i dag, medens der er fundet en positiv trend (stigende koncentrationer) på 66 % af de punkter, hvor PNEC værdierne ikke overskrides i dag. Den gennemsnitlige udviklingstendens er sammenfattet i Tabel 8. I Tabel 9 er der vist en beregnet udvikling i % i jordkoncentrationer over 28 år med udgangspunkt i en mediankoncentration og anvendelse af stigningstakterne i Tabel 8.

De beregnede udviklingstakter er i Figur 4 sammenholdt med udbragte mængder af svinegylle (t ha⁻¹, data fra Kvadratnettet) taget som gennemsnit for den periode, hvor koncentrationsdata er målt for de enkelte punkter. De fundne sammenhænge er forholdsvis svage (lav forklaret varians), men signifikant for kobber (p værdi for trend = 0,004). Den lave forklarede varians forventes at hænge sammen med, at koncentrationerne i gyllen ikke er kendt på kvadratnetspunkterne, og der forventes at være en væsentlig forskel mellem bedriftstyper. Forskellen mellem kobber og zink er forventelig, fordi mediankoncentrationerne kun er svagt stigende for Zn set over hele perioden, og medicinsk anvendelse af Zn giver væsentlig større variation i gyllens indhold i forhold til Cu. Udviklingstendenserne afhænger desuden af andre faktorer som fraførsler ved udvaskning, optag i afgrøder mv.



Figur 3. Fordelingen af udvikling (mg kg⁻¹ år⁻¹) i jordens indhold af total kobber og zink i det øverste jordlag (0-25 cm) estimeret på basis af målte data fra Kvadratnettet. Der er foretaget en trendberegning for alle punkter, hvor der er foretaget to eller flere målinger (i 1986, 1992, 1998 eller 2014). Det skal bemærkes, at undersøgelsen også omfatter et antal punkter, der ikke ligger på svinebrug.

Figure 3. Frequency distribution in the annual change in soil concentrations (mg kg⁻¹ y⁻¹) of total zinc and copper in the upper 25 cm of soils in samples collected within the national sampling grid. The trend is based upon sampling locations where data is available from two or more years (1986, 1992, 1998 and 2014). The figure also includes data collected at a smaller number of points located outside pig farms, e.g. at plant producers.

Tabel 8. Gennemsnitlig udviklingstendens ($\text{mg kg}^{-1} \text{år}^{-1}$) beregnet for alle (Kvadratnets) punkter hvor to eller flere målinger er til rådighed. Beregningen er gennemført separat for de to jordlag (0-25 cm og 25-50 cm) og på baggrund af puljede tal for de to lag.

Table 8. Trend in soil concentrations ($\text{mg kg}^{-1} \text{y}^{-1}$) calculated for all of the sampling points within the national grid with data available for two or more sampling years. The trend is calculated for both the upper (Lag 1, 0-25 cm) and the lower (lag 2, 25-50 cm) soil layer and for the pooled data for each sampling point (right part of Table). Cu and Zn are total concentrations extracted according to DS 259; Cut and Znt are EDTA-extracted concentrations.

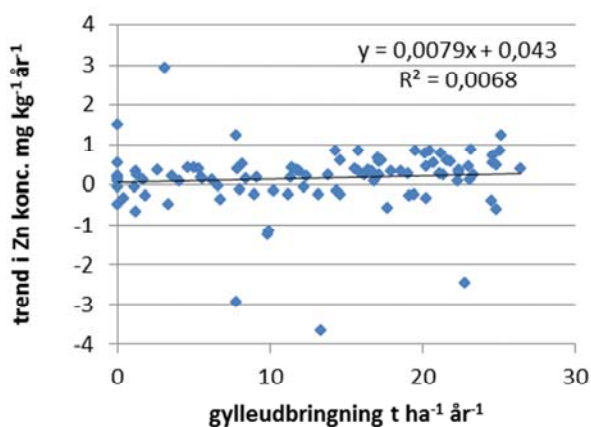
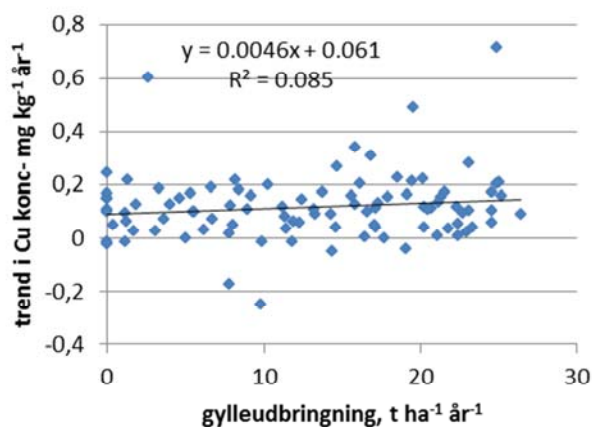
		Separat for lag 1 og 2				Pba. gennemsnit for lag 1 og 2			
		Cu	Cut	Zn	Znt	Cu	Cut	Zn	Znt
Lag 1	mean	0.116*	0.081	0,081	0.092	0.079*	0.075*	0,023	0.121
	stdv	0.129	0.806	0,807	0.820	0.349	0.135	0.945	0.703
Lag 2	mean	0,044	0.055*	0,097	0.135*				
	stdv	0.654	0.132	0.934	0.659				

*signifikant.

Tabel 9. Beregnet gennemsnitlig udvikling i % jordkoncentrationer over en 28 årig periode med udgangspunkt i en mediankoncentration og anvendelse af stigningstakterne i Tabel 8.

Table 9. The average increase (%) in soil concentrations of Cu and Zn over a period of 28 years. Data is based on linear interpolation of data for the period 1986-2014. It should be noted that the overall trend observed for zinc from the entire period includes significant variations between periods, i.e. -13.5% in 1986-1998 and +23.9 % 1998-2014, respectively.

		Separat for lag 1 og 2				Pba. gennemsnit for lag 1 og 2			
		Cu	Cut	Zn	Znt	Cu	Cut	Zn	Znt
Lag 1		28,0	67.6	4.5	47.5	21.1	78.5	1.8	81.9
Lag 2		13.2	96.2	6.6	143.8				

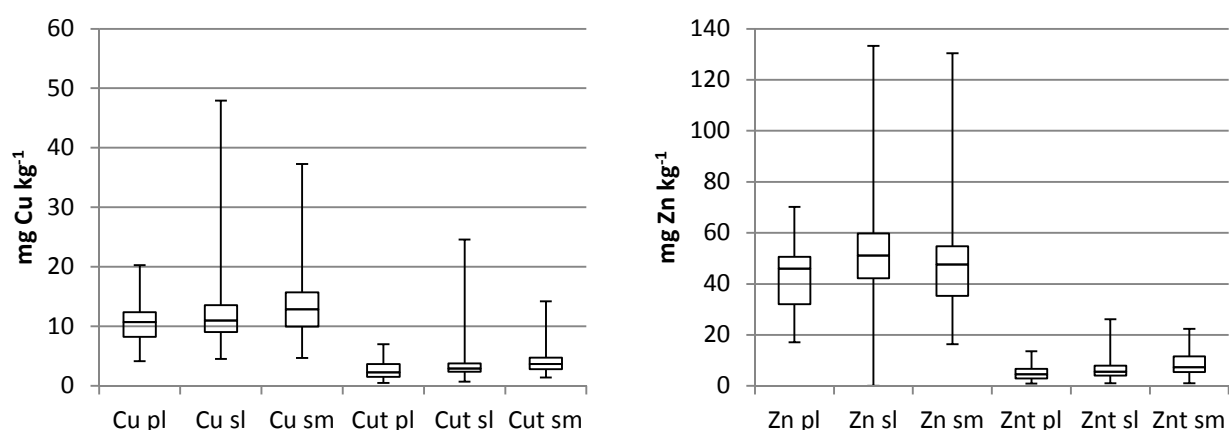


Figur 4. Sammenhængen mellem beregnede udviklingstendenser i jordkoncentrationer (total analyser, $\text{mg kg}^{-1} \text{år}^{-1}$) for kobber (til venstre) og zink (til højre) og de tilførte mængder svinegylle ($\text{t ha}^{-1} \text{år}^{-1}$).

Figure 4. Correlations between calculated trends in total soil concentrations ($\text{mg kg}^{-1} \text{y}^{-1}$) and the amount of pig slurry applied annually ($\text{t ha}^{-1} \text{år}^{-1}$).

6.3 Ejendomme

For de 22 ejendomme, der indgår i undersøgelsen i 2014, er der udtaget og analyseret jordprøver på hver mark. For ejendomme, der indgår i landovervågningsprogrammet i NOVANA (12 ejendomme), er markerne underinddelt, hvis markplanen er skiftet over årene. Figur 5 viser en sammenstilling af fundne koncentrationer (min-max og 25-, 50- og 75 percentiler) opgjort på bedriftstyperne planteavl, ejendomme med overvejende produktion af smågrise og ejendomme med overvejende produktion af slagtesvin. Indholdet af total Cu og Zn er signifikant højere for producenter af slagtesvin i forhold til planteavlere, producenter af smågrise i forhold til planteavlere og producenter af smågrise i forhold til producenter af slagtesvin, med undtagelse af Zn for slagtesvin i forhold til smågrise. Forskellene er sammenfattet i Tabel 10.



Figur 5. Sammenligning mellem det fundne indhold (mg kg^{-1} , min-max og 25-, 50- og 75 percentiler) af Cu og Zn i 2014 for undersøgelsen af forskellige bedriftstyper. Pl er planteavlere, sl slagtesvin, og sm producenter af smågrise. Cu og Zn er total koncentrationer, Cut og Znt kobber- og zink-tal (EDTA ekstraheret).

Figure 5. Comparison of the measured concentrations (mg kg^{-1}) of Cu and Zn in 2014 at various farm types, i.e. crop production (Pl), production sites for fattening pigs (sm) and weaners (sm), respectively. Cu and Zn are total concentrations extracted according to DS 259; Cut and Znt are EDTA-extracted concentrations. Figure shows data as minimum-maximum and 25, 50 and 75 percentiles.

Tabel 10. Fundne forskelle i jordkoncentrationer (%) mellem forskellig bedriftsformer. 'Smågrise' er bedrifter med søer og smågrise.

Table 10. Observed differences (%) between different farm types. First row: Farms with fattening pigs versus crop production; Second row: Farms with sows and weaners versus crop production; Third row: Farms with sows and weaners versus fattening pigs. All data is from the 2014 farm-specific survey.

	Tot Cu %	p	n	Tot Zn %	p	n
Slagtesvin ift. planteavl	13*	0,01	89-132	18*	0,0001	89-132
Smågrise ift. planteavl	24*	1e-5	89-123	8	0,06	89-123
Smågrise ift. slagtesvin	9*	0,04	132-123	-9*	0.02	132-123

* signifikant.

6.4 Regioner

Der er på baggrund af de fundne koncentrationer undersøgt, om der på et statistisk grundlag kan findes regionale forskelle i jordkoncentrationer. Fundne koncentrationer for tre regioner, i) Nord- og Midtjylland, ii) Syd, og iii) Sjælland og Hovedstaden er sammenlignet i Tabel 11.

Tabel 11. Den procentvise afvigelse mellem middelkoncentrationen for de enkelte regioner og middelkoncentrationen for alle regioner opgjort for hhv. ejendomsprogrammet, kvadratnetspunkterne og for alle prøver. Middelkoncentrationerne kan findes i Tabel 4.

Table 11. The relative difference (%) between the average concentrations for each region compared to the average of all regions for samples taken within the farm-specific survey (Ejendomme), the national sampling grid (Kvadratnet) and in total (Alle).

		Cu	Zn	Cut	Znt
Ejendomme	Nord- og Midtjylland	-12,5 [*]	-10,5 [*]	-11,4 [*]	31,2 [*]
	Syd	0,6	-3,7	-1,2	9,6 [*]
	Sjælland og hovedstaden	6,7 [*]	12,8 [*]	9,4 [*]	-37,3 [*]
Kvadratnet	Nord- og Midtjylland	1,5	-14,5 [*]	8,1 [*]	16,1 [*]
	Syd	-2,2	12,7 [*]	-4,3	-3,1 [*]
	Sjælland og hovedstaden	-1,0	21,0 [*]	-15,3 [*]	-37,4 [*]
Alle	Nord- og Midtjylland	-7,1 [*]	-16,8 [*]	-3,4	13,5 [*]
	Syd	1,9	2,5	0,3	11,3 [*]
	Sjælland og hovedstaden	10,1 [*]	20,5 [*]	9,9 [*]	-32,2 [*]

^{*}signifikant.

Undersøgelsen tegner ikke noget klart billede af regionale forskelle, bl.a. fordi der er væsentlige forskelle mellem ejendomsprogrammet og kvadratnetspunkterne. Der er også meget væsentlige forskelle mellem forskelle i total koncentrationer og kobber- og zinktal. Det skal dog bemærkes, at der er væsentligt større forskel i kobber- og zinktal med dybden, end tilfældet er for totaltallene (Tabel 4 og 5). Det kan således ikke udelukkes, at nogle forskelle i kobber- og zinktal mellem regionerne kan forklares med, at der er brugt forskellige underentreprenører og dermed kan være mindre forskelle i prøvetagningen for de forskellige regioner. Dette må i det mindste betragtes som en usikkerhed ved fortolkning af de fundne forskelle i kobber- og zinktal.

6.5 Model for jordens indhold af Cu og Zn

Jordkoncentrationerne vil som nævnt ikke kun afhænge af tilførslerne af kobber og zink (i svinegylle). Der vil være en variation i jordens indhold som følge af jordbundsforhold, nedbør, sædskifte mv. Dels vil der være en variation i jordens naturlige indhold, dels vil der være en sammenhæng mellem aktuelle og historiske tilførsler og fraførsler som følge af optag og udvaskning. Der kan være en betydelig kovarians mellem flere af de betydende faktorer. For at belyse den relative betydning af tilførsler med svinegylle for de fundne jordkoncentrationer er der derfor foretaget en statistisk analyse af den relative betydning af alle de indgående faktorer. Analysen er foretaget ved anvendelse af data fra Kvadratnettet. Analysen er foretaget med statistikprogrammet R, idet betydende parametre er udvalgt med RPART-pakken (træ-analyse), modelparametre er estimeret med GLM, og den forklarede varians analyseret med ANOVA. Resultater for (total) kobber og zink er vist i Tabel 12.

Tabel 12. Lineære modeller (GLM) for jordens indhold af (total) kobber og zink.**Table 12.** Linear models (GLM) for the total soil concentration of copper and zinc.

Kobber	Estimat	Std. Error	Pr(> t)	fork. varians (%)
(Intercept, mg kg ⁻¹)	7,21	1,38	1,0e-6	
Ler %	0,244	0,077	0.002	18
Nettonedbør (mm)	-0,008	0.006	0.145	23
Gylle (t ha ⁻¹ år ⁻¹)	0,181	0.044	8,9e-5	34
Zink	Estimat	Std. Error	Pr(> t)	fork. var. (%)
(Intercept, mg kg ⁻¹)	27,52	5,08	5,0e-7	
Ler %	2,00	0.28	3,5e-10	46
Nettonedbør (mm)	-0,074	0.021	0.0005	54
Gylle (t ha ⁻¹ år ⁻¹)	0,28	0.16	0.087	56

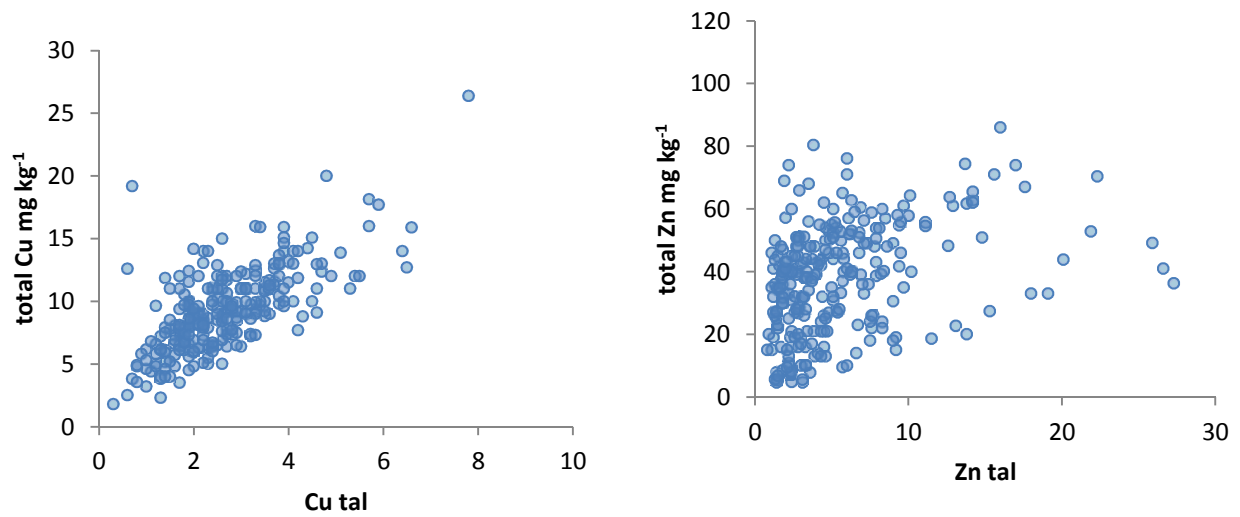
For både kobber og zink indeholder den opstillede model, ud over tilførslen af svinegylle (t ha⁻¹ år⁻¹), jordens lerindhold (%) og nettonedbøren. Nettonedbøren (perkolationen) er beregnet (med DAISY) på 10x10 km² net for forskellige afgrødekombinationer til landsdækkende modellering af kvælstofudvaskning. For kobber er tildelingen af gylle væsentlig for forklaring af de aktuelle jordkoncentrationer. Dette er i mindre grad tilfældet for zink, hvor sammenhængen ikke er signifikant, og den forklarede variation lille. Det har formentlig væsentlig betydning, at analysen kun har kunnet baseres på tildelte gylle-mængder, men at koncentrationerne i gyllen ikke har været kendt (se også Figur 4).

6.6 Model for sammenhængen mellem total Cu og - Zn og kobber- og zinktal

Der er foretaget en statistisk analyse af data fra Kvadratnettet for at belyse sammenhængen mellem målte total-koncentrationer af kobber og zink og kobber- og zinktal (EDTA ekstraheret). Der foretages langt flere målinger af (især) kobbertal og zinktal end totalanalyser, og det er derfor fundet ønskværdigt at belyse, i hvilken udstrækning kobber- og zinktal kan bruges til vurdering af, om PNEC værdier overskrides. Analysen er foretaget med statistikprogrammet R, idet betydende parametre er udvalgt med RPART-pakken (træ-analyse), modelparametre er estimeret med GLM, og den forklarede varians analyseret med ANOVA. For kobber indeholder modellen, ud over Cut, logaritmen til jordens lerindhold (%), der for kobber gav en bedre forklaring end lerprocenten utransformeret. For zink indeholder modellen, ud over zinktallet, jordens indhold af ler og humus (%). Målte værdier af total kobber og zink sammenholdt med kobber- og zinktal er vist i Figur 6.

Tabel 13. Lineære modeller (GLM) for sammenhængen mellem jordens indhold af (total) kobber og zink og kobber- og zinktal (EDTA ekstraheret).**Table 13.** Linear models (GLM) for the correlation between soil concentration of copper and zinc (total and EDTA-extracted).

Kobber	Estimat	Std. Error	Pr(> t)	fork. var. (%)
(Intercept)	-1,099	0,54	0.045	
Cut	1,776	0,097	2e-16	53
log(ler %)	6,061	0,55	2e-16	68
Zink	Estimat	Std. Error	Pr(> t)	fork. var. (%)
(Intercept)	10,48	1,98	2,7e-7	
Znt	1,44	0.11	2e-16	22
Humus %	-1,38	0.32	1,8e-5	30
Ler %	2,46	0.13	2e-16	69



Figur 6. Sammenstilling af målte værdier for total kobber (x-akse, mg kg⁻¹) og kobbertal (venstre) og total zink (x-akse, mg kg⁻¹) og zinktal (højre).

Figure 6. Correlation between total Cu and Zn (x-axes) and the EDTA-extracted concentrations (Znt, Cut) (y-axis). All data in mg kg⁻¹.

7 Modelberegninger

For at belyse variationen i jordkoncentrationer på landsplan og den mulige udvikling over tid, hvis den nuværende praksis for anvendelse af kobber og zink i svinefoder fortsætter, er der foretaget et sæt af modelberegninger med en dynamisk jordbundsmodel for kobber og zink. Modellen er primært baseret på Monteiro m.fl., (2010), Posch m.fl., 2009 og Lofts m.fl., 2013. Den anvendte model er udviklet på grundlag af- og parameteriseret på feltdata og valideret på et antal lokaliteter. Der mangler dog danske data og undersøgelser til fastsættelse af de enkelte parametre. Der er derfor foretaget en modelkalibrering, hvor de observerede udviklingstendenser for jordkoncentrationer er anvendt i kalibreringen.

Der er foretaget modelberegninger på tre niveauer:

1. Der er foretaget modelopsætning og enkelte modelparametre (primært ældning) er kalibreret ved anvendelse af data fra Kvadratnettet. Data fra Kvadratnettet er anvendt til modelopsætning og kalibrering, fordi det her har været muligt at estimere udviklingstendenser over tid ved anvendelse af målte data. Kalibreringen er baseret på både median og variation i de observerede udviklingstendenser, og ko-variation med gødningstilførsel, jordbund og nettonedbør er inddraget.
2. De kalibrerede modeller (for kobber og zink) er anvendt på data fra landovervågningsoplandene, hvor detaljerede data for landbrugspraksis er tilgængelige. På baggrund af disse modelberegninger har sædskiftets betydning for optag og udvaskning kunnet belyses.
3. Der er foretaget en landsdækkende beregning med anvendelse af data på markblok-niveau. Der er anvendt landsdækkende data for gylle udbringning på markblokke, landsdækkende jordbunds-kort og landsdækkende beregninger af nettonedbør for forskellige afgrødekombinationer. Variation i gylle udbringning mellem marker på ejendomsniveau, variation i gyllekoncentrationer mellem ejendomme og forskel i optag for forskellige sædskifter er indlagt som fordelingsfunktioner, hvor alle kombinationer er modelleret for de enkelte markblokke. Antal markblokke kan tilnærmelsesvis omsættes til areal ved anvendelse af et gennemsnitsareal på 7,6 ha/markblok.

Beregning af nettonedbøren (perkolationen) er gennemført med rodzone-modellen Daisy og er beskrevet i Grant m.fl., 2009. Perkolationen er beregnet for hver celle i DMI's 10*10 km² klimagrid, med input af nedbør, døgn-temperatur og globalindstråling. Nedbør er korrigeret for vind og opfugtnings-tab til jordoverflade pr. døgn (Refsgaard m.fl., 2011). Afgrødetyper og jordtyperne følger beskrivelsen i Grant m.fl., 2009. Nedbøren er korrigeret med faste månedskorrekktioner.

Oplysning om dyreenheder på markblokniveau er fra landmændenes indberetning til gødningsregnskaberne. For at udbrede bedriftens dyreenheder (DE) til bedriftens dyrkede areal er data fra gødningsregnskaberne koblet med bedriftens dyrkede areal indberettet til enkeltbetalingsordningen (glchr data). Koblingen er foretaget på bedrifternes cvr. nr.

For de landsdækkende beregninger er der anvendt jordbundsdata (JB numre) fra landsdækkende jordbundskort. Optag og fjernelse med afgrøden er beregnet baseret på De Vries, 2005 og Groenenberg, 2005.

Intentionen er, at de landsdækkende modelberegninger for markblokke skal bruges til opskalering fra Kvadratnettet og ejendomsundersøgelsen, samt til fremskrivninger af udviklingen i jordkoncentrationer ved fortsættelse af den aktuelle praksis. Det anvendte modelsystem er derfor kalibreret på data fra Kvadratnettet og ejendomsundersøgelsen til at reproducere (fordelingen af) udviklingstendens fra de sidste 28 år. I praksis er 25- og 75 percentilerne i kalibreringsproceduren brugt til at beskrive variationen i målte og beregnede trends. 25- og 75 percentilerne for de målte trends vil pga. måleusikkerheder være et over- hhv. underestimat af den faktiske variation, hvad der er taget højde for i kalibreringen. Den anvendte model (IDMM) er forholdsvis simpel og med få parametre og er dermed ikke i stand til at modellere den fulde variation. De modellerede variationer i trends er derfor i alle væsentligt tilfælde mindre end den målte variation, der som nævnt også indeholder måleusikkerhed (prøvetagning og analyse).

7.1 Landbrugspraksis

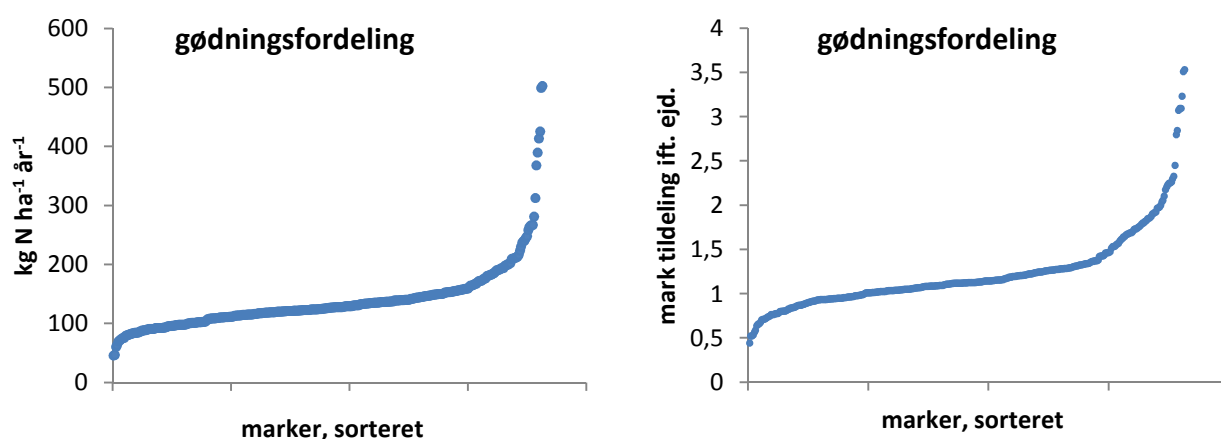
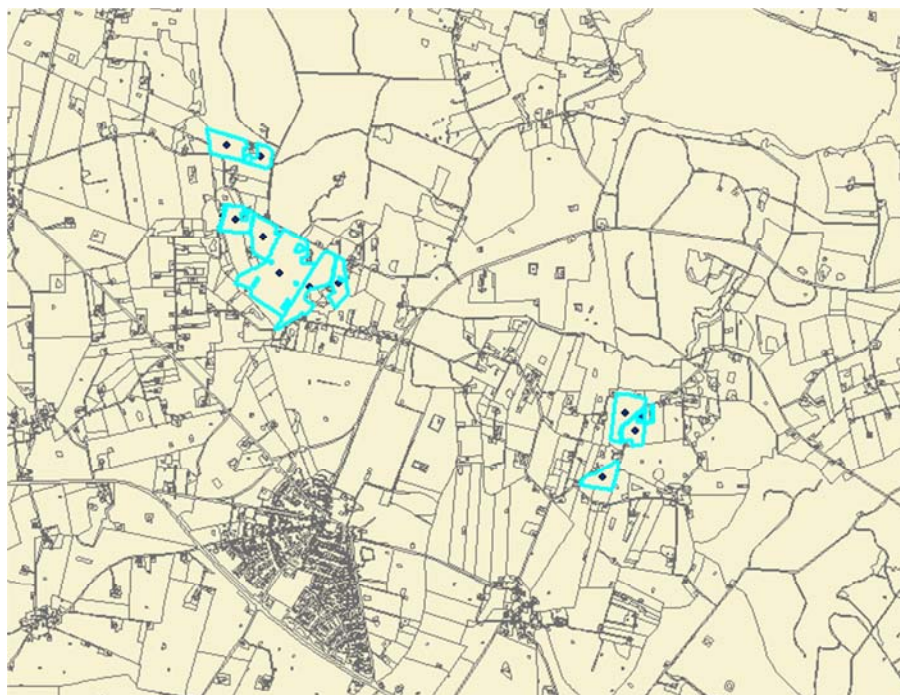
Som illustreret i ovenstående, er det vanskeligt at opnå et tilstrækkeligt datagrundlag til at belyse den høje ende af målte koncentrationer og udviklingstendenser udelukkende på et statistisk grundlag. Det er derfor valgt at lægge så stor en del af ejendomsprogrammet som muligt på ejendomme omfattet af landovervågningsprogrammet i NOVANA. Der er på disse ejendomme et detaljeret datagrundlag vedr. landbrugspraksis, der rækker tilbage til 1989. Der er desuden tidligere (i 2002) gennemført en analyse af gyllens indhold af bl.a. kobber og zink (Schwærter & Grant, 2003).

Figur 7 viser et eksempel på et landovervågningsopland (LOOP 7) med indtegnede marker, hvor der er udbragt svinegylle på en af de indgående ejendomme. Jordprøver er udtaget med udgangspunkt i de indtegnede centerkoordinater for markerne.

Data fra ejendommene i landovervågningsprogrammet giver bl.a. mulighed for at analysere den faktiske fordeling af gylle på ejendommens arealer. Figur 8 viser resultatet som kumulerede fordelinger af gylle til den enkelte mark i forhold til den gennemsnitlige gylletildeling til alle marker på en ejendom. Analysen er baseret på data fra 363 marker, der er rangordnet efter stigende gylletildeling i forhold til den gennemsnitlige anvendelse af gylle på ejendommens arealer, dels i totale mængder ($\text{kg N ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$), dels som fraktion. Hvis marktildelingen som fraktion er 0,5, betyder det, at marken som gennemsnit over lang tid har modtaget halvt så meget N i form af svinegylle, som der gennemsnitligt er udbragt på ejendommen. Tilsvarende betyder en fraktion over 2, at disse (6 %) marker i gennemsnit over årene modtager over det dobbelte N i form af svinegylle som gennemsnittet for de ejendomme, de enkelte marker tilhører. Der er tale om kvalitetssikrede data fra overvågningsprogrammet. Fordelingen er i modelberegningerne brugt som en diskret fordelingsfunktion, hvor de højeste hhv. laveste tildelinger er baseret på 90 og 10 percentil-værdierne.

Figur 7. Eksempel på de undersøgte markers placering, LOOP 7. Marker, hvor der er udbragt svinegylle, er markeret med blåt.

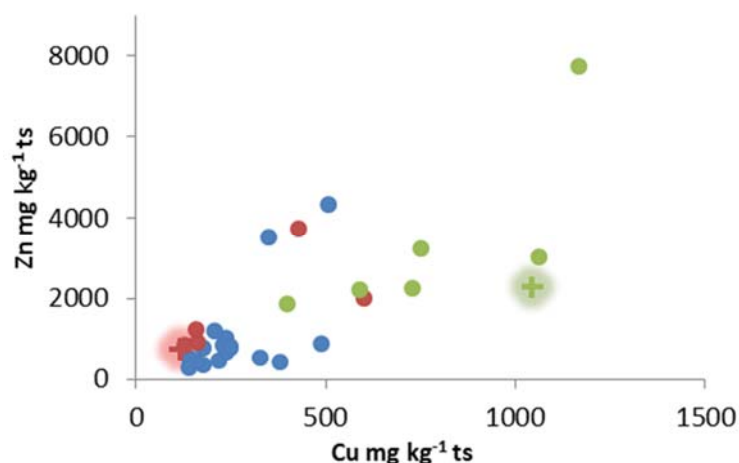
Figure 7. Example of the locations of the studied fields within the farm-specific survey, also named LOOP. Fields receiving pig slurry is marked with blue.



Figur 8. Kumulerede fordelinger af gylletildelinger til (363) enkeltmarker ift. den gennemsnitlige tildeling til alle marker på de ejendomme, gyllen kommer fra. Til venstre gylletildeling i $\text{kg N ha}^{-1} \text{år}^{-1}$, til højre forholdet mellem tildeling til den enkelte mark og gennemsnitlig tildeling til markerne på ejendommen, markeren tilhører.

Figure 8. Cumulated distributions of slurry application to individual fields ($N=363$). Left part of figure is slurry application ($\text{N ha}^{-1} \text{y}^{-1}$) on individual fields and right part of the figure is the relative application compared to the average application on all fields on the farm the field belong to.

Figur 9 viser sammenhørende måleresultater for koncentrationer af kobber og zink ($\text{mg kg}^{-1} \text{ts}$) i svinegylle, dels fra denne undersøgelse (rød: slagtesvin og grøn: søer og smågrise), dels fra den tidligere undersøgelse i 2002 (blå) (Schwærter og Grant, 2003). Der ses at være en vis sammenhæng mellem koncentrationerne af kobber og zink. De største koncentrationer er som ventet fundet på bedrifter med søer og smågrise (grønne punkter). Til sammenligning er vist normtal for gyllens indhold af kobber og zink for slagtesvin og smågrise baseret Birkmose & Tybirk, 2013. Disse tal er nærmere beskrevet nedenfor.



Figur 9. Målte koncentrationer i svinegylle. Data fra denne undersøgelse (rød: slagtesvin, grøn: søer og smågrise) og fra den tidligere undersøgelse i 2002 (slagtesvin, blå) (Schwærter og Grant, 2003). Til sammenligning er vist normal for gyllens indhold af kobber og zink for slagtesvin (rødt kryds) og smågrise (grønt kryds) baseret Birkmose & Tybirk, 2013.

Figure 9. Measured concentrations in pig slurry. Data includes samples from this survey including farms with fattening pigs (red) and weaners/sows (green) as well as data from a previous survey in 2002 on farms with fattening pigs (blue) (Schwærter og Grant, 2003). For comparison, the national norm for fattening pigs (red cross) and weaners (green cross) is included as reported by Birkmose & Tybirk (2013).

7.2 Model for indhold af kobber og zink i gylle

Indholdet af kobber og zink i gyllen (og variationen heri) er en nøgleparameter for modelberegning af den fremtidige udvikling i jordens indhold af kobber og zink på de arealer, hvor gyllen udbringes. Der er flere kilder til bestemmelse af gyllens indhold. Dels er der i denne undersøgelse gennemført målinger af gyllens indhold på de 16 ejendomme med svin, der indgår, dels er gyllens indhold tidligere (2002) undersøgt på 17 ejendomme i landovervågningsprogrammet (Schwærter & Grant, 2003), dels er der foretaget flere udredninger af gyllens indhold (Birkmose & Tybirk, 2013, Knudsen & Nørgaard, 1995).

Det er valgt i de videre (model)beregninger at basere middelværdien af gyllens indhold på de nyeste udredninger (Birkmose & Tybirk, 2013), medens variationen er estimeret ud fra de tilgængelige målinger. Det kan bemærkes, at de anslåede værdier i den nyeste udredningsrapport ligger under det maksimalt tilladte iht. lovgivningen, og i forhold til faktiske målinger (Figur 9), og der må forventes en vis usikkerhed på værdierne. Dette er der i nogen udstrækning taget højde for ved kalibrering af modelsystemet til at reproducere de fundne trends. En undervurdering af koncentrationer (og dermed tilførsler) vil dermed også lede til en undervurdering af fraførsler.

Der er opstillet en simpel model for indholdet i gylle primært baseret på Birkmose & Tybirk, 2013. Indholdet af kobber og zink i slagtesvinegylle er styret af, at man dels ønsker at overholde normerne for kobber og zink på 6 henholdsvis 100 mg pr. foderenhed og dels at holde sig under max grænserne i foderstoflovgivningen, som er 25 mg kg⁻¹ henholdsvis 150 mg kg⁻¹. (1 foderenhed er foderværdien af 1 kg byg, hvede eller rug). Den typiske til-

sætning er iflg. Birkmose & Tybirk, 2013 100 mg zink / kg foder og 15 mg kobber / kg foder. Herved vil foderet typisk komme til at indeholde ca. 130 mg zink og 20 mg kobber pr. FEsv, forudsat at foderet indeholder 1,05 FEsv pr. kg (FEsv er enheden for foderenheder for svin). I smågrisefoder (indtil levende vægt på 32 kg) bruges meget højere dosering af kobber, typisk tilsættes ca. 150 mg kobber pr. FEsv. Desuden er 10 % af smågrisefoderet tilsat ca. 2200 mg zink pr. FEsv, mens de resterende 90 % er tilsat ca. 130 mg zink pr. FEsv. I gennemsnit tilsættes smågrisefoderet ca. 325 mg zink pr. FEsv. I svinekroppen aflejes ca. 3 mg kobber og 30 mg zink pr. kg tilvækst.

Gyllens indhold af kobber og zink kan følgelig estimeres som indholdet i foderet minus indholdet i tilvæksten og kan med ovenstående forudsætninger for slagtesvin beregnes til (Birkmose & Tybirk, 2013):

Kobber: $75 \text{ kg tilvækst} \times 2,85 \text{ FEsv/kg tilvækst} \times 20 \text{ mg pr. FEsv} - 75 \text{ kg tilvækst} \times 3 \text{ mg/kg tilvækst} = 4275 - 225 \text{ mg} = 4050 \text{ mg kobber pr. svin.}$

Zink: $75 \text{ kg tilvækst} \times 2,85 \text{ FEsv/kg tilvækst} \times 130 \text{ mg pr. FEsv} - 75 \text{ kg tilvækst} \times 30 \text{ mg/kg tilvækst} = 27\ 788 - 2250 \text{ mg} = 25\ 538 \text{ mg zink pr. svin.}$

For smågrise kan gyllens indhold beregnes som:

Kobber: $24,8 \text{ kg tilvækst} \times 1,96 \text{ FEsv/kg tilvækst} \times 150 \text{ mg pr. FEsv} - 24,8 \text{ kg tilvækst} \times 3 \text{ mg/kg tilvækst} = 4275 - 225 \text{ mg} = 7217 \text{ mg kobber pr. gris.}$

Zink: $24,8 \text{ kg tilvækst} \times 1,96 \text{ FEsv/kg tilvækst} \times 130 \text{ mg pr. FEsv} - 24,8 \text{ kg tilvækst} \times 30 \text{ mg/kg tilvækst} = 4275 - 225 \text{ mg} = 5575 \text{ mg zink pr. gris.}$

Zink (10 % medicinsk): $24,8 \text{ kg tilvækst} \times 1,96 \text{ FEsv/kg tilvækst} \times 2200 \text{ mg pr. FEsv} - 24,8 \text{ kg tilvækst} \times 30 \text{ mg/kg tilvækst} = 106\ 938 - 225 \text{ mg} = 106\ 713 \text{ mg zink pr. gris.}$

Et vægtet gennemsnit giver 17,2 g zink pr. gris.

Nye tal oplyst af SEGES til Fødevarestyrelsen ifm. færdiggørelsen af denne rapport ligger tæt på disse tal (+ 10-15 %) (Birgitte Broesbøl-Jensen, Fvst, pers. komm.) Det er ligeledes af SEGES opgjort, at den udskilte mængde kobber i gødning fra en årssø med 30 grise udgør 29,7 g kobber og 180 g zink.

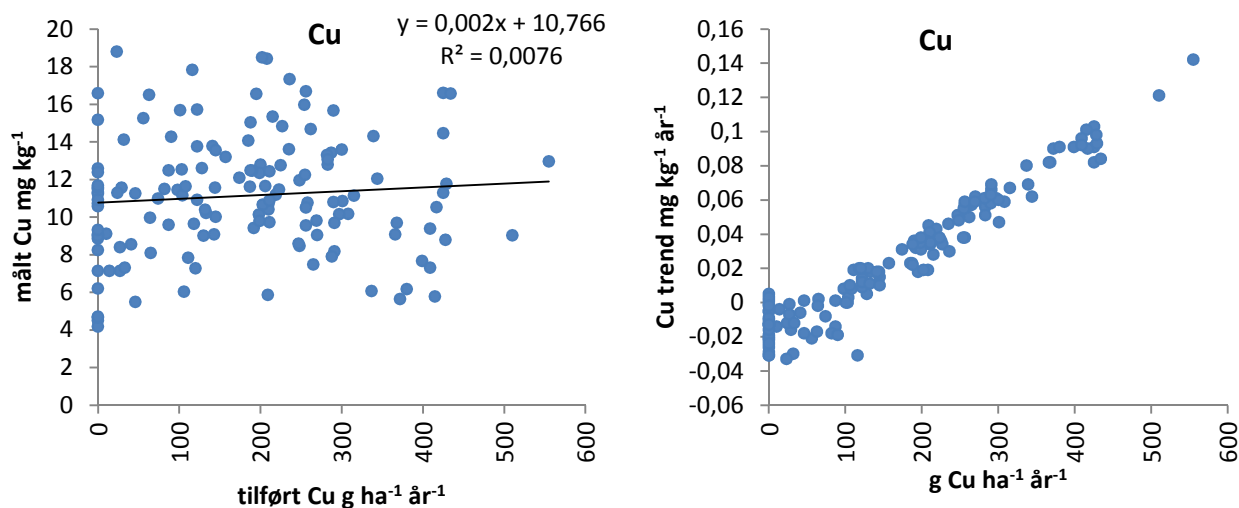
Gyllens indhold er beregnet ud fra den udskilte mængde kobber og zink pr dyr ved anvendelse af normtal for husdyrgødning (Damgaard Poulsen, H. (red), 2013). Der er anvendt en produceret mængde på 0,52 t pr slagtesvin med et N indhold på 2,57 kg pr slagtesvin og en tørstofprocent på 6,6. For smågrise er anvendt 0,138 t pr svin med et N indhold på 0,48 kg N pr gris og en tørstofprocent på 5. 1 årssø med 28,8 grise til 7,2 kg producerer ca. 4,07 t gylle med et N indhold på 15,9 kg N og et tørstofindhold på 4,5 %. Baseret på disse normtal vil den gennemsnitlige koncentration i gylle fra slagtesvin være 118 mg Cu kg⁻¹ ts og 744 mg Zn kg⁻¹ ts. For smågrise er indholdet 1045 mg Cu kg⁻¹ ts og 2266 mg Zn kg⁻¹ ts. Koncentrationen i gylle på den enkelte ejendom vil afhænge af besætningens sammensætning (produceret gylle fra søer, smågrise og slagtesvin).

Der er (baseret på Birkmose & Tybirk, 2013) indlagt en antagelse om, at indholdet af kobber i slagtesvinegylle i dag er betydeligt lavere end for 20 år siden, hvor man ofte havde samme dosering af kobber i slagtesvinefoder, som smågrisene får i dag. Reduktionen er primært sket i forbindelse med indførelse af EU krav (Kommissionens forordning (EF) Nr. 1334/2003 af 25. juli 2003). Før måtte fuldfoder til smågrise op til 16. leveuge maksimalt indeholde 175 mg kobber kg⁻¹. Efter de nye regler trådte i kraft, må fuldfoder til

smågrise indeholde 170 mg Cu kg⁻¹, og grisene må nu kun få den høje dosis kobber indtil 12. leveår. Zinkkoncentrationerne er i mangel af pålidelige data holdt konstant over tid. Indholdet kan imidlertid meget vel være steget de seneste år. Fødevarestyrelsen har opgjort en stigning i anvendelsen af medicinsk zinkoxid fra 128.437 kg i 2005 til 404.509 kg i 2013 (Udvalget for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri, 2014-15, FLF alm. del, endeligt svar på spørgsmål 115).

7.3 Resultater

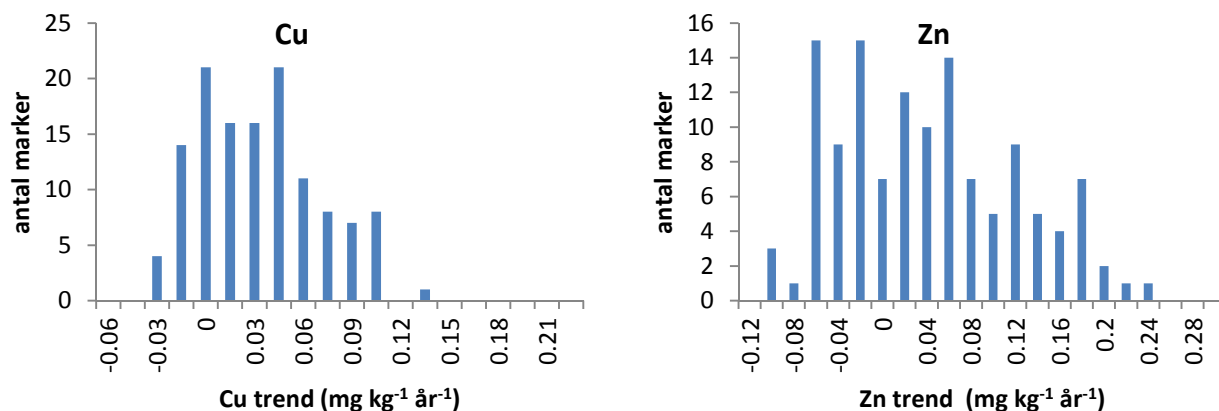
Der er foretaget en modelopsætning og kalibrering ved anvendelse af data fra Kvadratnettet, hvor den tidsmæssige udvikling har kunnet estimeres, jf ovenstående. Figur 10 viser sammenhæng mellem aktuelle totale koncentrationer (mg kg⁻¹) af kobber for marker i landovervågningsoplandene og historiske tilførsler med svinegylle (g ha⁻¹ år⁻¹) og den beregnede fremtidige udvikling ved fortsat tilførsel på det aktuelle niveau. Sammenlignet med tidligere viste resultater for kvadratnettpunkterne er sammenhængen mellem målinger og tilførte mængder bedre. Dette skyldes formentlig, at der for landovervågningssejendommene kan anvendes gyllekoncentrationer, der svarer til bedriftstypen (smågrise / slagtesvin). Den modelberegne fremtidige udvikling viser en betydelig variation ved lave tilførsler, men en konvergens mod en mere lineær sammenhæng til de tilførte mængder ved store tilførsler. Der er som nævnt foretaget en kalibrering af modellen baseret på de observerede trends i kvadratnetsundersøgelsen. Kalibreringen er primært sket på parametre, der vedrører ældningen, medens optag og udvaskning er parameteriseret på baggrund af litteraturværdier og standardværdier for IDMM modellen. Kalibreringen har været indskrænket til intervaller, der er i overensstemmelse med andre tilsvarende studier. De væsentligste elementer i den beregnede massebalance følger dermed også størrelsesordenen fundet i modelberegningerne for EU's pre-assessment for kobber og zink (Monteiro m.fl., 2010). I dette studie (Monteiro m.fl., 2010), blev der for kobber fundet (i % af samlet tilførsel) en adsorption på 42-48 %, ældning på 33-44 %, udvaskning på 2-5 % og optag på 9-17 %. For zink blev der fundet en adsorption på 13-26 %, ældning på 51-77 %, udvaskning på 4-14 % og optag på 5-10 %. Fordelingen ved ligevægt (hvor nettoadsorptionen er 0) for denne undersøgelse er vist på Figur 15 og 16.



Figur 10. Sammenhæng mellem aktuelle total koncentrationer af kobber for marker i landovervågningsoplandene og historiske tilførsler med svinegylle ($\text{g Cu ha}^{-1} \text{år}^{-1}$) (figur til venstre) og den beregnede fremtidige udvikling ($\text{mg kg}^{-1} \text{år}^{-1}$) ved fortsat tilførsel på det aktuelle niveau (figur til højre).

Figure 10. Left: Correlation between total concentrations of copper (mg kg^{-1}) measured in 2014 at the fields of the farm-specific LOOP survey and the historical application of copper via pig slurry ($\text{g Cu ha}^{-1} \text{y}^{-1}$) at the same locations. Right: Modelled increase in soil concentrations (mg kg^{-1}) assuming a future application at the current level.

Figur 11 illustrerer den beregnede fremtidige koncentrationsudvikling (over 100 år) for de marker i landovervågningsprogrammet, der indgår i denne undersøgelse. Som det fremgår, forventes der en betydelig variation, hvor koncentrationerne vil stige en del steder og falde andre. Dette skyldes primært, at koncentrationerne på de modellerede marker i stor udstrækning forventes at være en funktion af landbrugspraksis, og de aktuelle koncentrationer ikke er i balance med de indlagte forudsætninger for den fremtidige praksis (anvendelse af kobber og zink svarende til estimatet for det aktuelle gennemsnit). Det skal bemærkes, at modellerne er opsat / kalibreret til at reproducere udviklingstendensen over de sidste 20 – 30 år og ikke tager højde for mulige forandringer i praksis de seneste år. Der ses for de modellerede marker en stigning i mediankoncentration for kobber, og i mindre grad for zink. Det skal bemærkes, at der ikke (aktuelt) indgår brug med smågrise i landovervågningsprogrammet. De udbragte mængder gylle fra smågrise i disse beregninger er derfor mindre, også set over tid, end for landet som gennemsnit. Spredningen på den beregnede udvikling i koncentrationer er mindre end spredningen på koncentrationsudviklinger beregnet ud fra målte data (Figur 3). Dette skyldes både, at de anvendte modeller og data ikke i fuld udstrækning afspejler den fulde variation i praksis og naturgivne forhold og (i mindre grad), at spredningen på koncentrationsudviklinger beregnet ud fra målte data også indeholder variation som følge af usikkerheder i prøvetagning og analyser (se også bilag 1).



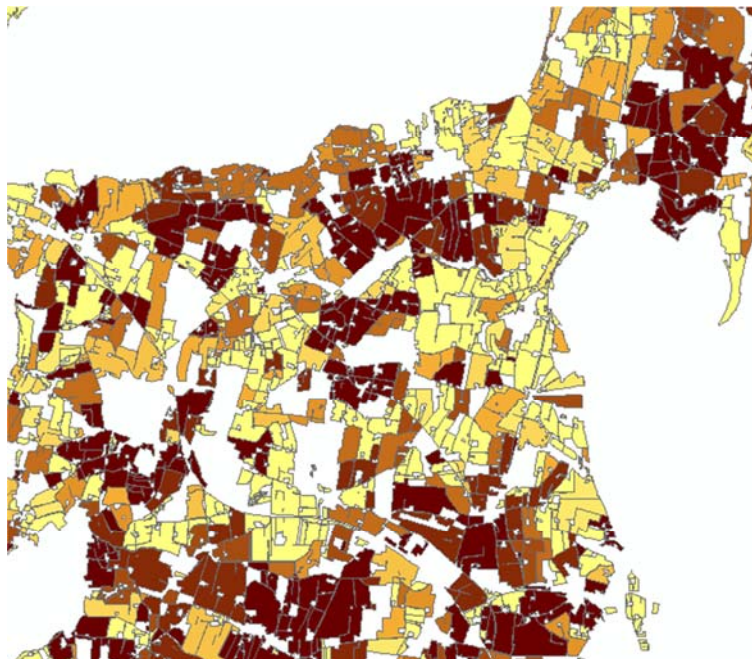
Figur 11. Beregnet fremtidig koncentrationsudvikling (gennemsnit for 100 år) for kobber og zink for markerne i landovervågningsprogrammet, hvis tilførslen af de to metaller fortsætter på det aktuelle niveau.

Figure 11. Distributions of the increase in soil concentrations ($\text{mg kg}^{-1} \text{y}^{-1}$) of copper and zinc among fields within the farm-specific LOOP survey, assuming a future application at the current level. Data is modelled as an average over 100 year.

Der er foretaget en landsdækkende modellering baseret på tilgængelige data fra GLR, CHR og andre kilder, som data beregnet til brug for landsdækkende beregninger af kvælstofudvaskning. Figur 12 illustrerer en væsentlig del af datagrundlaget, beregnede tildelinger af svinegylle opgjort på markblok-niveau.

Figur 12. Udsnit af markblok-kort, der viser variationen i tildeling af svinegylle på markblokke, mørkest signatur 112 – 260 $\text{kg N ha}^{-1} \text{år}^{-1}$.

Figure 12. Example of a field-map showing the variation in use of pig slurry. Darkest color corresponds to an amendment in the range of 112 – 260 $\text{kg N ha}^{-1} \text{y}^{-1}$.

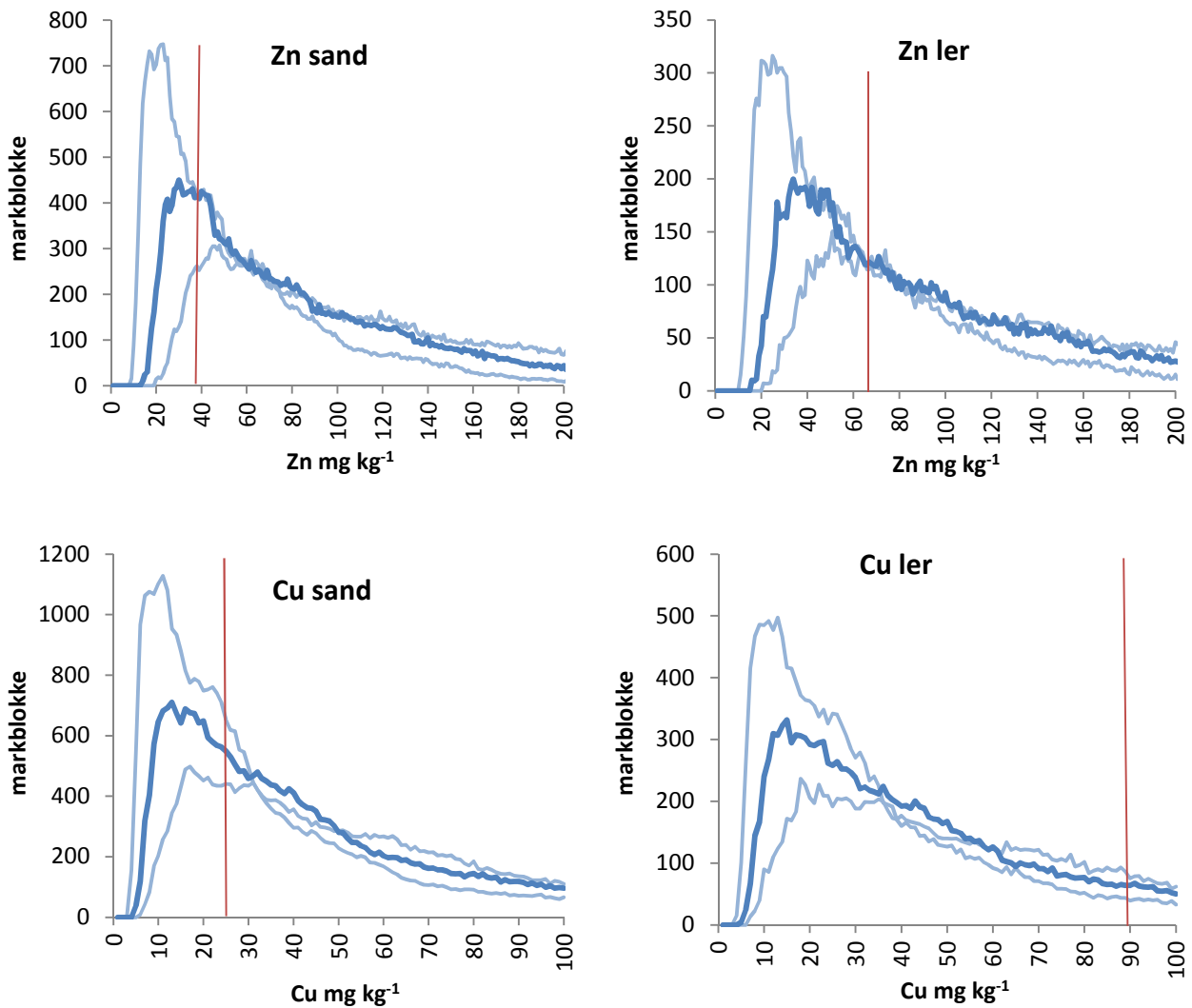


Ud over anvendelsen af svinegylle er der anvendt et landsdækkende datagrundlag for jordbund (jordbundskort) og nettonedbør/perkolation beregnet for forskellige afgrødekategorier på DMI's 10x10 km^2 kvadratnet til brug for landsdækkende beregninger af nitratudvaskning. Ud over de tilgængelige landsdækkende data mangler en del oplysninger for at kunne modelberegne koncentrationsudviklingen på den enkelte mark. De væsentligste ubekendte for den enkelte mark er i) brugstypen (smågrise/slagtesvin/integre-

ret), ii) udbringning af gylle på marken ift. ejendommens gennemsnit, iii) koncentrationen i gyllen og iv) optag som følge af udbytte/sædskifte. Disse parametre er indlagt som fordelingsfunktioner, hvor alle kombinationer er modelleret for de enkelte markblokke. Fordelingsfunktionerne for gylleudbringning, udbytte og sædskifte er bestemt ud fra data fra landovervågningsprogrammet; fordelingen af gyllekoncentrationer er fra målinger foretaget i denne undersøgelse og den tidligere undersøgelse i 2002. Ved beregning af udviklingen over tid er endvidere anvendt en fordeling af nukoncentrationer fundet i denne undersøgelse. Ligevægtskoncentrationerne er opdelt på sand- og lerjorder. Med de anvendte tilførselsniveauer vil ligevægtskoncentrationerne kun i mindre grad være en funktion af forskelle i bindingskapacitet og nettonedbør.

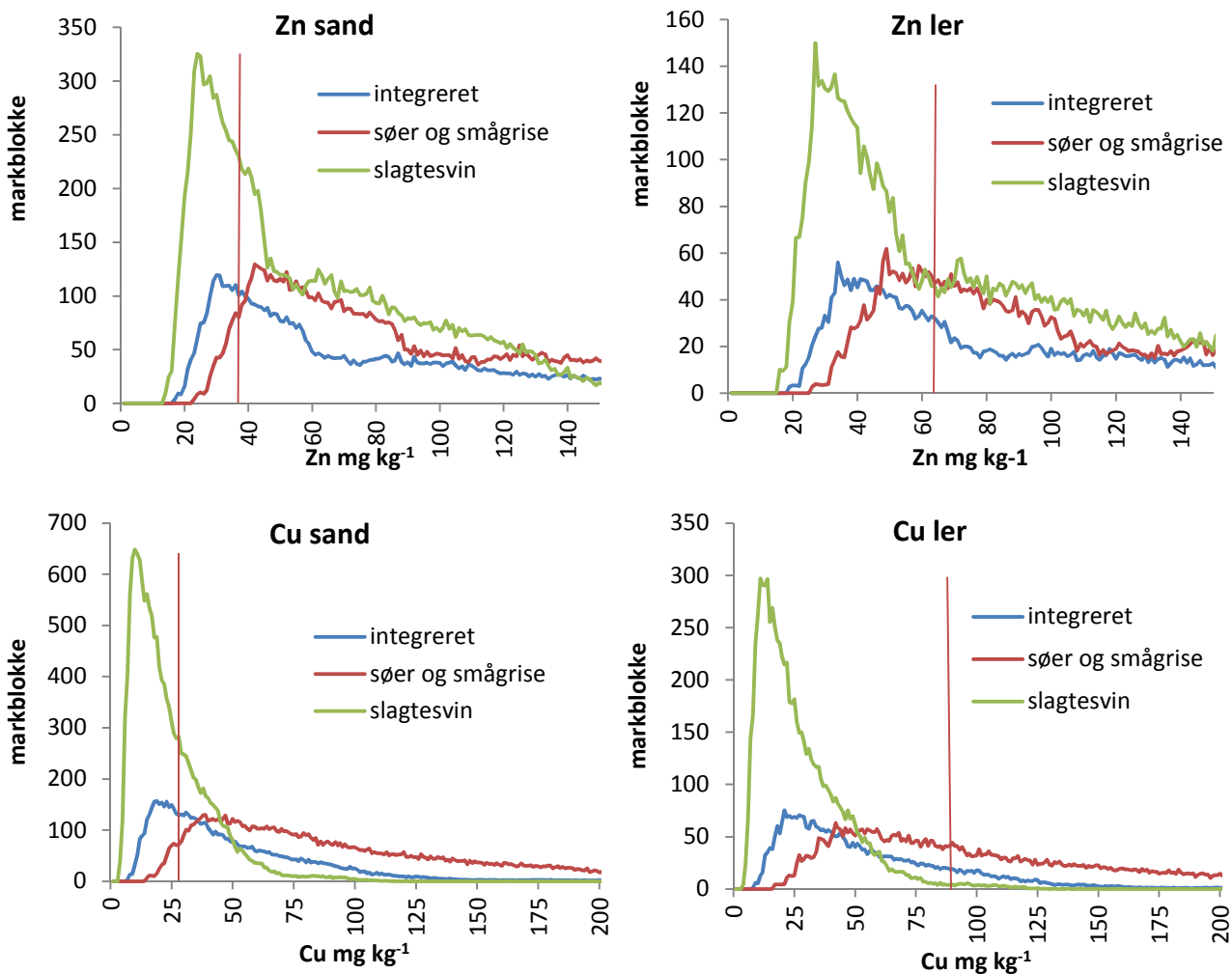
Der er foretaget beregninger af ligevægtskoncentrationer for sand og lerjorder samlet (Figur 13) og opdelt på bedrifter med søer og smågrise, slagtesvin og integrerede bedrifter (Figur 14). Den producerede mængde gylle er beregnet ud fra producerede dyr (19,4 mil. slagtesvin og en eksport af 9,6 mil. smågrise pr år (2013)), og normtal for husdyrgødning. Det er antaget, at gyllen fordeles efter N. Ud fra antal producerede dyr og normtal for husdyrgødning (Poulsen m.fl., 2013) kan andelen af N i gylle fra smågrise opgøres til 12 %. Sammensætningen af søer, smågrise og slagtesvin og dermed sammensætningen af gødning på de enkelte bedriftstyper er baseret på Christensen, 2014. Andelen af rene smågriseproducenter (uden sohold) er antaget så lavt, at de ikke er medtaget som særskilt kategori.

Ligevægtskoncentrationen er den jordkoncentration, hvor de (koncentrationsafhængige) fraførsler er lig tilførslen med gylle, atmosfærisk deposition mm. Der kan gå op til 15 000 år, før der opnås ligevægt på en mark, men ændringerne reduceres væsentligt med tiden. Det beregnede antal markblokke kan sammenholdes med det samlede antal markblokke, der modtager svinegylle. Der er på landsplan ca. 110 000 markblokke (ud af totalt omkring 360 000 markblokke), der modtager svinegylle, 72 000, der modtager mere end 30 kg N ha⁻¹ år⁻¹ som gennemsnit for ejendommen, og 58 000, der modtager mere end 50 kg N ha⁻¹ år⁻¹ som gennemsnit for ejendommen. Ca. 15 % af den producerede svinegylle kommer fra bedrifter med smågrise. Figur 13 viser beregnede ligevægtskoncentrationer ved fortsættelse af aktuel praksis på marker, der modtager mere end 50 kg N i form af svinegylle. Beregningen er opdelt på kobber og zink på sand- og lerjorder. Figuren viser både det mest sandsynlige scenario samt et høj- og lav-akkumulerings-scenario, der angiver yderpunkter i mulige parameteriseringer konsistent med den hidtidigt observerede koncentrationsudvikling. På Figur 14 er beregningen opdelt på bedriftstyper. Integrerede bedrifter er bedrifter med både søer, smågrise og slagtesvin.



Figur 13. Beregnet fordeling af kobber- og zinkkoncentrationer ved ligevægt for arealer (markblokke), der modtager svinegylle i større mængde end $30 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$ som gennemsnit for en ejendom ved fortsættelse af aktuel landbrugspraksis. På figurerne er indtegnet nul-effekt grænsen for sandjorder og lerjorder. Den fedt optrukne linje er det mest sandsynlige scenario. De tyndere linjer er et høj- og lav-akkumuleringsscenario, der angiver yderpunkter i mulige parameteriseringer konsistent med den hidtidigt observerede koncentrationsudvikling.

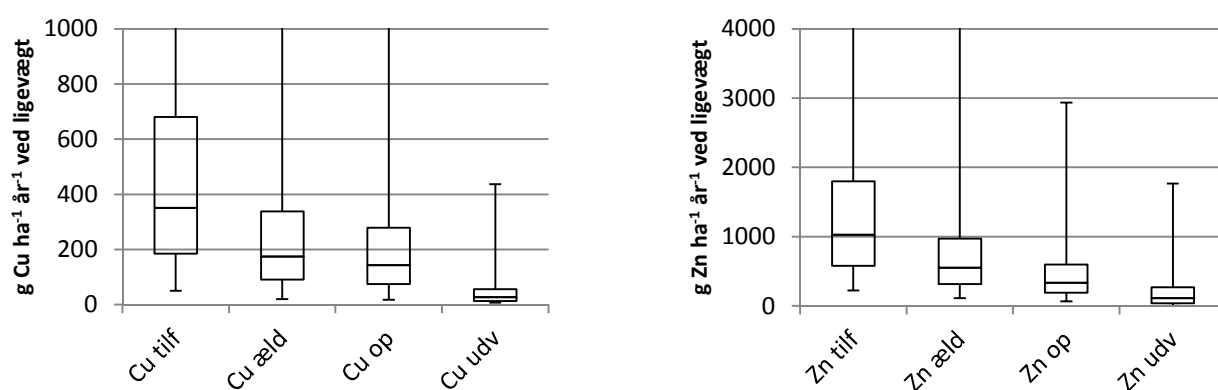
Figure 13. Distribution of Cu and Zn concentrations at steady state in Danish fields receiving pig slurry exceeding $30 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ as an average for the farm assuming a future application rate at the current level. Y-axis is the number of mark blocks (fields). The Figure separates data into two soil types, i.e. sand (sand) and clay (ler) and includes the established PNEC value for the four scenarios. The solid line is the most likely scenario and the upper and lower lines are high and low-accumulation scenarios indicating the boundaries of the parameterisations that are consistent with the observed trend in soil concentrations.



Figur 14. Beregnet fordeling af kobber- og zinkkoncentrationer ved ligevægt for arealer (markblokke), der modtager svinegylle i større mængde end $30 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$ som gennemsnit for en ejendom ved fortsættelse af aktuell landbrugspraksis. På figurene er indtegnet nul-effekt grænsen for sandjorder og lerjorder. Beregningen er opdelt på bedriftstyper, hvor integrerede bedrifter har både søer, smågrise og slagtesvin.

Figure 14. Calculated distribution of Cu and Zn concentrations at steady state for areas receiving pig slurry higher than $30 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$ as an average of the entire farm assuming a future application rate of the current level. Y-axis is the number of mark blocks (fields). Data is separated for farms with fattening pigs (green), sows and weaners (red) and integrated production (blue). The Figure separates data into two soil types, i.e. sand (sand) and clay (ler) and includes the established PNEC value for the four scenarios.

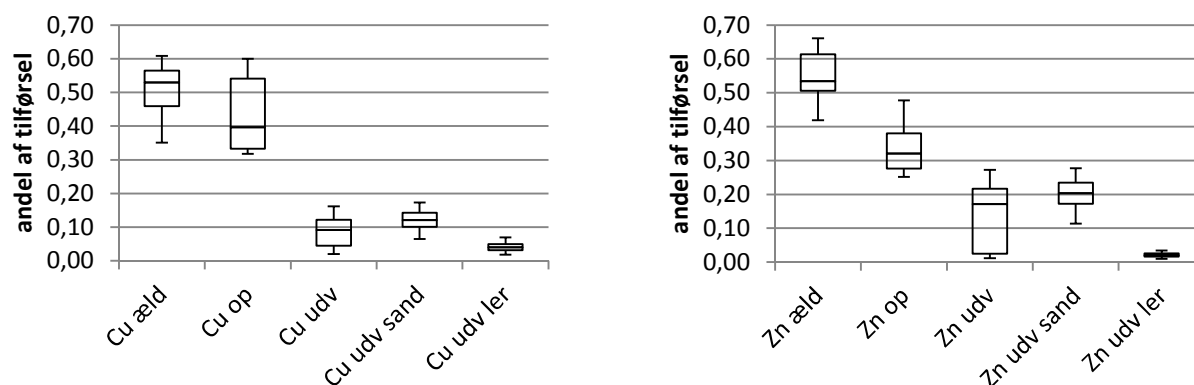
Stofbalancen ved ligevægt er illustreret på Figur 15 (kumulerede fordelinger). De væsentligste elementer i stofbalancen ved ligevægt er tilførsel (med svinegylle, handelsgødning og atm. deposition), optag (afgrøder), ældning og udvaskning. Nettoabsorptionen er nul ved ligevægt. Som det fremgår, er de væsentligste negative elementer i balancen ældning og optag, medens udvaskning udgør en mindre del. Dette hænger sammen med det høje niveau af tilførsler. På naturjorder er udvaskning den dominerende fraførsel. Usikkerhederne på de enkelte elementer i stofbalancen forventes at være væsentligt større end usikkerheden på den samlede balance. Der mangler danske data til at parameterisere de enkelte processer, og parameteriseringen er derfor foretaget på baggrund af udenlandske undersøgelser (Posch mfl., 2009, Groenenberg mfl., 2005, de Vries mfl., 2004, Lofts mfl., 2013). Derudover er der, som tidligere beskrevet, foretaget en kalibrering af ældningsprocessen for at reproducere de observerede udviklingstendenser. Den anvendte model er forholdsvis simpel og baseret på lineære sammenhænge mellem koncentrationer og optag og udvaskning. Da der er grænser for, hvor store mængder kobber og zink, planter kan optage, betyder det, at de højeste beregnede optag kan være for høje. Et for højt beregnet optag ved store tilførsler vil imidlertid i beregningerne i nogen grad modsvares af en tilsvarende for lav beregnet udvaskning. Koncentrationsfremskrivningerne forventes dermed at være relativt robuste, også for høje tilførsler.



Figur 15. Fordelinger (median, 25 og 75 percentiler samt min-maks) for tilførsel, ældning, optag og udvaskning af kobber og zink ved ligevægt for marker, der modtager mere end 30 kg N i form af svinegylle, ved fortsættelse af aktuell praksis.

Figure 15. Fluxes ($\text{g ha}^{-1} \text{y}^{-1}$) for input (tilf), ageing (æld), uptake (op) and leaching (udv) of copper and zinc (at steady state for fields receiving pig slurry higher than 30 kg N $\text{ha}^{-1} \text{y}^{-1}$ assuming a future application rate of the current level).

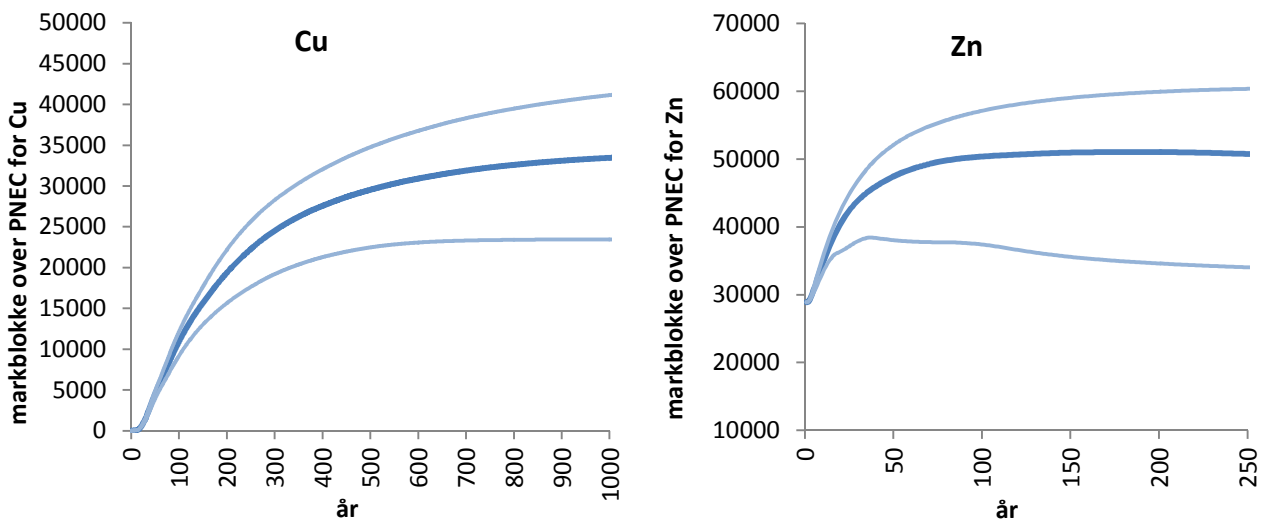
Andelen af tilført kobber og zink, der fraføres ved hhv. ældning (æld), optag (op) eller udvaskning (udv) er illustreret på Figur 16. Andelen for udvaskning er desuden vist separat for sand- og lerjorder, idet udvaskningen er væsentligt lavere på ler- end på sandjorder. Selvom den udvaskede andel som nævnt pga. de store tilførsler udgør en mindre del af den samlede stofbalance, er der stadig tale om betydelige mængder af kobber og zink, der potentielt kan udgøre en risiko for vandmiljøet. En nærmere belysning af denne problemstilling ligger udenfor rammerne af dette projekt, der fokuserer på sammenhængen mellem tilførsler med svinegylle og de nuværende og fremtidige jordkoncentrationer. En nærmere belysning af mulige problemer i vandmiljøet vil både kræve etablering af et bedre datagrundlag for udvaskningsberegningerne og oplandsanalyser med henblik på at beskrive skæbnen af udvasket kobber og zink i vandmiljøet.



Figur 16. Andelen af tilført kobber og zink, der fraføres ved hhv. ældning (æld), optag (op) eller udvaskning (udv) ved ligevægt (nettoadsorbition = 0). Andelen for udvaskning er desuden vist separat for sand- og lerjorder. Figuren viser 2, 25, 50, 75 og 98 percentiler.

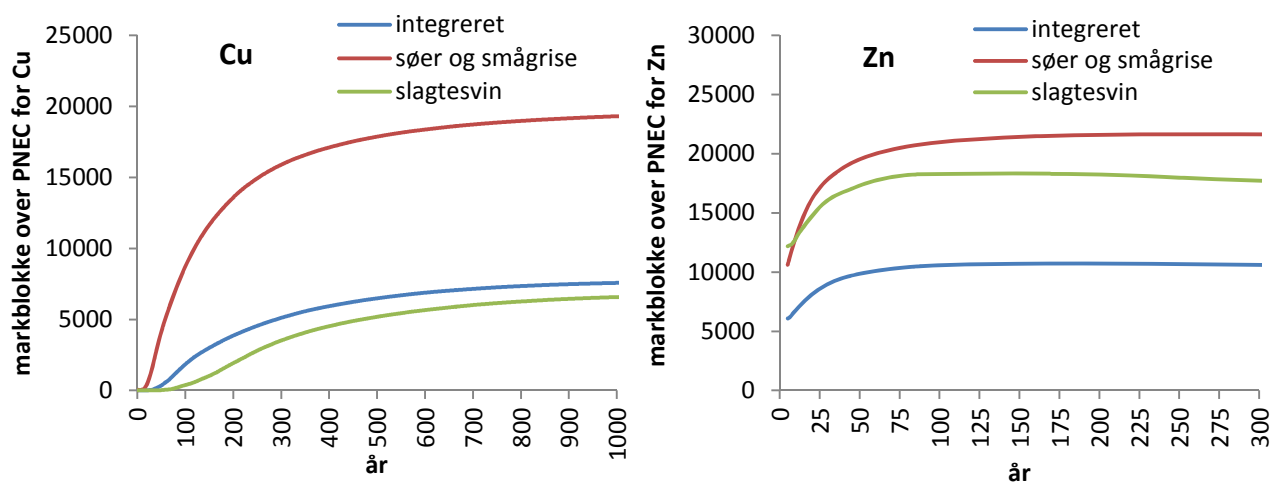
Figure 16. Relative fraction of the out-put sources ageing (æld), uptake (op) and leaching (udv) of copper and zinc at steady state (net-accumulation=0). The leaching (udv) is furthermore separated into sandy (sand) and clay (ler) soils. Data is presented as 2, 25, 75 and 98 percentiles.

Der er foretaget en beregning af den forventede tidsmæssige udvikling i antal markblokke, der overskrider nul-effekt grænserne for kobber og zink i jord ved fortsættelse af aktuel landbrugspraksis. Beregningen er foretaget for arealer (markblokke), der modtager svinegylle i større mængde end 50 kg N ha⁻¹ år⁻¹ som gennemsnit for en ejendom. Beregningen er illustreret på Figur 17 for alle arealer, og på Figur 18 opdelt på smågrise og slagtesvin. På Figur 17 er både illustreret det mest sandsynlige scenario og et høj- og lavakkumuleringsscenario, der angiver yderpunkter i mulige parameteriseringer konsistent med den hidtidigt observerede koncentrationsudvikling. Som det fremgår, vokser forskellen mellem scenarierne kraftigt med tiden. Dette hænger bl.a. sammen med, at den anvendte tidsserie til kalibrering omfatter 28 år, hvilket er relativt lidt set i forhold til fremskrivninger over flere hundrede år. Det kan bemærkes, at startpunktet (år 0) på Figur 17 er den nuværende situation. Det kan dermed aflæses, at der aktuelt skønnes at være omkring 29 000 markblokke (ca. 220 000 ha), der overskrider nul-effekt niveauet for zink. Skønnet er baseret på det fundne antal målinger med overskridelser af nul-effekt grænsen i denne undersøgelse, men det skal understreges, at undersøgelsen ikke har været designet til at kortlægge arealet med overskridelser, og skønnet dermed er usikkert.



Figur 17. Beregnet udvikling i antal markblokke, der overskrider nul-effekt grænserne for kobber og zink ved fortsættelse af aktuell landbrugspraksis. Beregningen er foretaget for arealer (markblokke), der modtager svinegylle i større mængde end 30 kg N ha⁻¹ år⁻¹ som gennemsnit for en ejendom. Den fedt optrukne linje er det mest sandsynlige scenario. De tyndere linjer er et høj- og lav-akkumuleringsscenario, der angiver yderpunkter i mulige parameteriseringer konsistent med den hidtidigt observerede koncentrationsudvikling.

Figure 17. Modelled trend in the number of fields (y-axis), which over the years (år) (x-axis) will exceed the established PNEC values for Cu and Zn. The calculations include all fields receiving pig slurry exceeding 30 kg N ha⁻¹ år⁻¹ as an average of the entire farm. The solid line is the most likely scenario and the upper and lower lines are high and low-accumulation scenarios indicating the boundaries of the various parameterisations that are consistent with the observed trend in soil concentrations.



Figur 18. Beregnet udvikling i antal markblokke, der overskrider nul-effekt grænserne for kobber og zink ved fortsættelse af aktuell landbrugspraksis. Beregningen er foretaget for arealer (markblokke), der modtager svinegylle i større mængde end 30 kg N ha⁻¹ år⁻¹ som gennemsnit for en ejendom. Beregningen er opdelt på bedriftstyper, hvor integrerede bedrifter har både søer, smågrise og slagtesvin.

Figure 18. Modelled trend in the total number of fields (y-axis), which over the years (år) (x-axis) will exceed the established PNEC values for Cu and Zn assuming a future application rate of Cu and Zn that corresponds to the current rate. Data is separated for farms with fattening pigs (green), sows and weaners (red) and integrated production (blue).

Den spatiale fordeling af ligevægtskoncentrationer er illustreret på Figur 19 (median for markblokke). Beregningen viser et mønster, hvor de højeste ligevægtskoncentrationer findes, hvor anvendelsen af svinegylle er størst (dele af Vestdanmark).

Dette er i modsætning til mønsteret fundet ved kortlægningen i 1992, hvor de højeste koncentrationer blev fundet, hvor jordbunden er mere leret og nettonedbøren lav (Østdanmark).

Figur 19. Beregnede ligevægtskoncentrationer (median) for kobber (øverst) og zink ved aktuel praksis.

Figure 19. Calculated steady state concentrations for copper (top) and zinc (bottom) assuming a future application rate of Cu and Zn that corresponds to the current rate.



8 Tilsvarende udenlandske undersøgelser

Også i andre lande og i EU har problemstillingen omkring brugen af zink og kobber i svinebrug været i fokus. I 2004 og 2006 publicerede forskere ved den hollandske forskningsinstitution Alterra en udredning om risikoen ved langtidsakkumulering af kobber og zink i hollandske landbrugsjorder (De Vries m.fl., 2005, Groenenberg m.fl., 2005). Rapporterne var bestilt og finansieret af henholdsvis den internationale kobber- og zink-sammenslutning, men udført af en velrenommeret forskningsgruppe, der tidligere har udført lignende analyser i FN regi.

Rapporterne sammenlignede ved hjælp af massebalancemodeller den forventede fremtidige akkumulering af zink og kobber i hollandske landbrugsjorder med beregnede jordkvalitetsmål, såkaldte nul-effekt-niveauer. Jordkvalitetsmålene blev beregnet på baggrund af viden fra laboratoriestudier og state-of-the-art ekstrapolationsmodeller og tilpasset de beregnede forskelle i biotilgængelighed jordtyperne imellem. Derudover blev det forudsat, at det naturlige baggrunds niveau af de to metaller ikke skal medtages i risikobetragtninger, idet det forudsættes, at dyr og planter historisk er tilpasset denne del af metaleksponeringen. Derudover blev det forudsat, at kobber og zink i naturlige miljøer efter en årrække vil være mindre tilgængeligt for giftvirkninger end det, som observeres i kortvarige laboratorieforsøg, hvorfor jordkvalitetsmålene er hævet med en faktor i forhold til de konservative betragtninger, som ofte anvendes i andre sammenhænge. Det skal bemærkes, at koncentrationsniveauerne i de hollandske undersøgelser ikke kan sammenlignes direkte med denne undersøgelse, idet de hollandske beregninger er for summen af adsorberet og ældet metal. De beregnede størrelser er dermed ca. dobbelt så høje som niveauerne i denne undersøgelse, og de anvendte nul-effekt niveauer tilsvarende højere.

Når man modellerer tilførslerne og fraførslerne af kobber og zink og sammenligner de beregnede jordkoncentrationer i en fremtidig ligevægtssituation, viser dette, at der i Holland for zink vil være ca. 50 % af jorderne, der vil overstige jordkvalitetsmålet, medens tallet er 18 % for kobber. Især for kobber er akkumuleringen så langsom, at det i gennemsnit vil tage 800 år på græsarealer og 1600 år på andre landbrugsjorder at overstige de beregnede jordkvalitetsmål. De samme beregninger viser 250 og 650 år for zink. Husdyrgødning udgør i beregningerne langt den største kilde, ca. 80 %, til kobber- og zinktilførslerne til landbrugsland i Holland.

Zink anvendes i dag som veterinært lægemiddel. Både kobber og zink anvendes i form af fodertilsætningsstoffer i EU, som reguleres af EU-Kommissionen på baggrund af ekspertviden og sikkerhedsvurderinger fra Den Europæiske Fødevarer sikkerhedsautoritet (EFSA), der i 2010 publicerede en udredning om dette emne (Monteiro m.fl., 2010). Hovedkonklusionerne fra denne rapport var, at den nuværende brug af kobber og zink i svineproduktionen ikke udgør et problem i dag, men at den på sigt, ca. 50 år, vil kunne udgøre en risiko for følsomme jordtyper med høj belastning i EU, dvs. jorder med lav pH, og at disse jorder primært vil være at finde i Flandern, Holland, Nordvesttyskland og Danmark (modelsценarie for Danmark baseret på data fra Ringkøbing). Der var generelt færre lokaliteter, hvor zink forventes at udgøre en risiko sammenlignet med kobber. Medens det stort set kun er gylle fra smågrise, der udgør et problem mht. kobber, er der langt

flere gødningstyper, hvor zinkbelastningen vil være et miljøproblem grundet det relative lave jordkvalitetskrav for zink på jorder med lav pH. I det danske scenarie fra Ringkøbing vil udbringning af gødning resultere i en overskridelse af jordkvalitetsmålet indenfor en årrække på ca. 50 år, men hvor det kun er gældende for kobber, hvis der gødes med gylle fra smågrise, er det for zink gældende for de fleste husdyrtyper.

Da det vil være yderst vanskeligt at tilbageføre en fremtidig skadelig situation med for højt kobber og zinkindhold i jorden, anbefaler rapporten, at man forsøger at være proaktiv og forhindrer, at dette sker og/eller skaber bedre viden om, hvorvidt de opstillede modelbetragtninger og scenarier er realistiske.

Samlet set kommer de forskellige rapporter, der alle er baseret på modelbetragtninger, frem til, at den nuværende belastning med kobber og zink ikke for indeværende er et større problem, men at specielt gylle fra smågrise på mellemlangt sigt, dvs. ca. 50-100 år, kan udgøre et miljøproblem på følsomme jorder med høj belastning.

I England viste en undersøgelse fra 2004, at i store dele af landet var tilførslen af kobber og zink i en størrelsesorden, der kunne lede til bekymringer (Ashmore m.fl., 2004). Således viste sammenligninger mellem den årlige arealbelastning og de estimerede jordkvalitetsmål (critical limits), at tilførslen overskred målværdierne på næsten 40 % af jorderne i Storbritannien og oftest i den lavtliggende del af England. Overskridelse af den kritiske grænse for zink og i mindre grad for kobber skyldtes for en stor dels vedkommende naturligt forhøjede baggrunds niveauer (grundet jordens geologiske oprindelse). Når man i specielt de sydlige egne af England ser disse forhøjede jordkoncentrationer af kobber, skyldes det således dels et naturligt højt baggrunds niveau styret af det geologiske udgangsmateriale, men også samme jordbundstypers evne til at binde tidligere tiders industrielle (atmosfæriske) forureninger. Forfatterne udelukker dog ikke forureninger fra landbrug (handelsgødning og spildevandsslam), men kommer ikke nærmere ind på brugen af kobber og zink i foder til svin. På baggrund af jordtypeafhængige tålegrænser viser den engelske rapport, at disse varierer med en faktor 10 eller endda 100 på tværs af landet, med de laveste tålegrænser i det lavtliggende England og Wales på grund af den mindre fraførsel ved erosion, lav mængde af opløst organisk materiale og høj pH. Tålegrænserne for kobber var overskredet i det centrale, østlige og sydlige England, medens tålegrænserne for zink desuden var overskredet i Wales og det sydvestlige England.

En norsk udredning fra 2014 bestilt af den Norske Videnskabskomite for fødevarer sikkerhed (VKM) havde som ophav at vurdere konsekvensen af brugen af kobber og zink i svineproduktionen (VKM 2014). Risikoaspekter, der var inkluderet i rapporten, inkluderede metalkoncentrationer i afgrøder, human eksponering, miljøeffekter samt resistensudvikling i bakterier. Alt sammen set i et hundredårs perspektiv. Akkumuleringen af zink og kobber i planteafgrøder vil efter 100 års fortsat udbringning af gylle med de nuværende koncentrationer resultere i plantekoncentrationer, der ligger op til 6 og 3 gange over det nuværende indhold af henholdsvis zink og kobber. Zink er beregnet til på lang sigt at ville udgøre et miljøproblem for de jordlevende organismer, medens kobber i foderplanter på længere sigt kan være et problem for får. Koncentrationerne i andre landbrugsprodukter som kød, mælk og æg vil ikke stige til problematiske niveauer, medens zinkindholdet i vegetabiliske fødevarer dyrket på marker gødsket med gylle med et højt indhold af zink vil kunne overstige de anbefalede maksimum grænser. Endelig

pegede rapporten på, at der er indikationer på, at det nuværende zink- og kobberforbrug på visse bedrifter vil kunne lede til udvikling af multiresistente bakterier i husdyr.

9 Diskussion

Undersøgelsen indeholder dataindsamling på to niveauer (Kvadratnettet og ejendomme med forskellig driftsform) og modellering på tre niveauer, idet der her også er inddraget et landsdækkende niveau. Der er desuden inddraget data fra tidligere undersøgelser på kvadratnetspunkterne. Det er dermed muligt at sammenstille forskellige delresultater og diskutere, hvorvidt disse kan bidrage til en samlet konklusion af undersøgelsen. Der er i nedenstående foretaget en sådan diskussion for en række væsentlige spørgsmål, undersøgelsen kan bidrage til at belyse.

9.1 Har tilførslen af kobber og zink ved udbringning af svinegylle medført en dokumenterbar stigning i jordkoncentrationer?

Allerede den tidligere undersøgelse af kvadratnetspunkter i 1992 viste væsentligt højere niveauer for kobber og zink i dyrkningsjord end i naturjorder (Bak m.fl., 1997). Det var dog vanskeligt at skelne mellem en mulig effekt fra landbrugsdriften og forskelle som følge af jordtype. Den efterfølgende undersøgelse i 1998 (Gräber m.fl., 2005) inddrog prøver fra både 1986 og 1998, og det var dermed muligt at vise en stigning i middel og mediankoncentrationer af kobber fra 1986 til 1998 for alle marker, men størst for marker tilført svinegylle. For zink viste undersøgelsen et fald i (middel og median) zink fra 1986 til 1998. For kobber og zink viste undersøgelsen en positiv sammenhæng mellem de tilførte mængder gylle og udviklingen i koncentrationer fra 1996 til 1998. De her præsenterede resultater adskiller sig lidt fra tidligere publicerede resultater fra denne undersøgelse (Gräber m.fl., 2005), formentlig fordi det har været muligt at inddrage målinger fra flere punkter, end der var anvendt data fra i de tidligere publikationer. Der er således fundet en signifikant sammenhæng mellem tilført gylle og udviklingen i kobberkoncentrationer, medens sammenhængen ikke er signifikant for zink.

Der er ved den her præsenterede undersøgelse (i 2014) fundet en yderligere stigning i kobberkoncentrationer for kvadratnetspunkterne fra 1998 til 2014, og en ligeledes markant og signifikant stigning i zinkkoncentrationer, hvorved koncentrationerne adskiller sig yderligere fra koncentrationer i naturjorder ((Bak m.fl., 1997).

En analyse af jordens indhold af kobber og zink på marker fra ejendomme med forskellige driftsformer viser signifikant højere koncentrationer for ejendomme med svineavl end for ejendomme med planteavl. Der er endvidere fundet signifikant højere kobber koncentrationer for ejendomme med produktion af smågrise end for ejendomme med slagtesvin. Modelberegninger for kvadratnetspunkterne viser, at de fundne koncentrationer og udviklingstendenser kan forklares tilfredsstillende ud fra de forventede tilførsler med svinegylle.

Samlet set vurderes det at være en robust konklusion, at tilførsler af kobber og zink med svinegylle har medført en betydende stigning i jordkoncentrationer for de arealer, hvor gyllen er udbragt. Der i denne undersøgelse fundet overskridelser af PNEC værdierne for 45 % af de foretagne analyser for Zn, medens der for Cu kun er fundet én målt værdi, der overskrider PNEC-værdierne for kobber.

9.2 Hvor stor er udviklingstakten, og kan der ses en udvikling i tendens over tid?

Der er en væsentlig variabilitet i både gyllens indhold og i landbrugspraksis, og både lokale og regionale forskelle i faktorer, der påvirker fjernelsen af kobber og zink (ved optag, ældning og udvaskning). Der kan derfor forventes – og findes – en stor variation i udviklingstendens for de enkelte punkter. Der vil desuden ligge en usikkerhed i, at prøverne for de enkelte år er foretaget på forskellige tidspunkter og på forskellige laboratorier. En evt. systematisk afvigelse mellem laboratorierne forventes dog at være lille i forhold til de fundne forskelle (se bilag 1). Udviklingstendensen for de enkelte punkter er desuden bestemt ud fra alle tilgængelige målinger for punktet (2 til 4). Hvor der kun er to målinger, er det forskelligt fra punkt til punkt, hvilke år, der er til rådighed, og en evt. bias mellem laboratoriemålingerne vil dermed kun i ringe grad afspejles i den fundne fordeling af udviklingstendenser.

Udviklingen i middel- og mediankoncentrationer er interessant, fordi den kan bruges til at tolke ændringer i praksis. Figur 2 viser udvikling i mediankoncentrationer, og Tabel 7 beskriver udvikling i middelkoncentrationer. Udviklingen i total (median) koncentrationer for kobber (Figur 2) viser ikke nogen signifikant forskel i stigningstakt pr år for de to perioder ('86 - '98 og '98 - 2014). Den fundne stigningstakt for kobbertal er væsentligt højere for 1998 - 2014 end for 1986-1998. Det er dermed vanskeligt entydigt at konkludere noget om udviklingen i tendens over tid for kobber.

For zink kan der både for totalindhold og zinktal ses et fald fra 1986-1998 og en stigning fra 1998-2014, hvor de fundne middel- og medianværdier også ligger over 1986 målingerne. En hypotese kunne være, at zinkkoncentrationerne i nogen udstrækning har fulgt tilførslerne. Stigningen i den sidste periode kan så bero på en stigende anvendelse. Anvendelsen af medicinsk zinkoxid er som nævnt tredoblet siden 2005. Der er imidlertid for lidt data vedr. udviklingen i indholdet af zink i gylle over tid til, at en sådan hypotese kan efterprøves.

Der er foretaget en analyse, hvor udviklingstendensen for alle punkter med 2 eller flere målinger fra 1986, 1992, 1998 og / eller 2014 er bestemt. Der er (Figur 3) en væsentlig variation i udviklingstendenser for de enkelte punkter, hvor nogle punkter har en kraftig stigende tendens, medens der på andre ses fald. Middeludviklingen i totalkoncentrationer for kobber svarer til en stigning på 21 - 28 % over 28 år med malte data. For zink er der en svagt positiv tendens for totalkoncentrationen og en væsentligt større stigende tendens for zinktallet. Dette kan tyde på væsentlige skift i praksis over tid, idet der ved en konstant situation vil forventes en (jordtype afhængig) ligevægt mellem totalkoncentration og zinktal. Det understøtter, at der formentlig har været en væsentlig stigning i den sidste periode. Det er imidlertid vanskeligt at give et sikkert svar på størrelsen af den aktuelt stigende tendens for udviklingen i jordens zinkindhold.

9.3 Kan en fortsættelse af den nuværende praksis med anvendelse af kobber og zink i svinefoder føre til stigning i andelen af arealer med problematiske koncentrationer i jorden?

En meget simpel betragtning vil umiddelbart lede til svaret *ja* for både kobber og zink. Uanset at det som beskrevet ovenfor er usikkert, hvor stor den aktuelle stigning i zinkkoncentrationerne på middel- og medianniveau er, så

er der for både kobber og zink en betydelig variation i udviklingstendens mellem de enkelte punkter/marker, hvor der kan ses ret kraftige stigninger for nogle punkter/marker og fald på andre. For zink ses der den største andel af stigninger på de punkter, hvor PNEC værdierne ikke allerede er overskredet. En fremskrivning af de fundne udviklingstendenser (ud fra nu-koncentrationer) vil således lede til, at PNEC-værdier for kobber på et tidspunkt vil overskrides for en del arealer, og arealandelen med overskridelser for zink forøges.

Tidsperspektivet er naturligvis også interessant. Betragtes forskellen mellem de anbefalede nul-effekt koncentrationer (Tabel 3) og middelkoncentrationen for kobber ($11,7 \text{ mg kg}^{-1}$) ses, at med en stigningstakt på 20 % på 20 år vil der gå 119 år, før middelkoncentrationen overstiger PNEC-værdierne for sandjorder. Anvendes de højeste fundne udviklingstendenser ($0,4 - 0,8 \text{ mg kg}^{-1} \text{ år}^{-1}$) ses til gengæld, at overskridelser vil kunne ske på under 20 år på disse arealer, afhængigt af nu-koncentrationen. Dette er i store træk i overensstemmelse med konklusionerne i den norske udredning fra 2014 bestilt af den Norske Videnskabskomite for fødevarerikkerhed (VKM, 2014).

Det er nødvendigt at kvalificere ovenstående simple betragtning, fordi det ikke er al tilført kobber og zink, der ender med at bidrage til en koncentrationsstigning, idet der også er (koncentrationsafhængige) fraførselsprocesser i forhold til den adsorbere fraktion (optag, udvaskning, ældning). Jordkoncentrationerne kan således ikke forventes at stige til det uendelige ved en konstant tilførsel, men der vil indstille sig en ligevægt mellem tilførsler og jordkoncentrationer.

Der er derfor udført modelberegninger til belysning af den mulige fremtidige koncentrationsudvikling. Figur 11 viser fordelingerne af de beregnede fremtidige koncentrationsudviklinger (100 år) for kobber og zink for marker på ejendomme i landovervågningsprogrammet ved fortsættelse af aktuell landbrugspraksis. Sammenholdes fordelingen i udvikling med fordelingen i jordens nuværende indhold ses, at det kan forventes, at der vil nås problematiske koncentrationer af kobber på en del arealer og en stigning i andelen med problematiske koncentrationer af zink. Der indgår imidlertid ikke producenter af smågrise i landovervågningsprogrammet, og der er som beskrevet i beregningerne indlagt en forventning om en væsentlig forskel i gyllens indhold mellem producenter af smågrise og slagtesvin.

Der er foretaget en landsdækkende (model) beregning bl.a. baseret på data for gødningstildelinger på markblokke, landsdækkende jordbundskort og landsdækkende beregninger af nettonedbør for forskellige afgrødekombinationer. Beregningen viser, at der ved fortsættelse af den aktuelle praksis vil kunne opbygges problematiske (højere end nul-effekt niveauet) koncentrationer for kobber på i størrelsesorden 30 -50 % af arealer, der modtager svinegylle. For zink kan der forventes en forøgelse af den aktuelle arealandel med problematiske koncentrationer til et niveau mellem 45 og 80 % af arealet, der modtager svinegylle. En fjerdedel af stigningen kan forventes indenfor 80 år for kobber og 2 - 3 årtier for zink.

En samlet vurdering på baggrund af de foreliggende data og de foretagne beregninger vil være, at en fortsættelse af den nuværende praksis vil lede til koncentrationer over PNEC-værdierne for kobber på en del af de arealer, der modtager svinegylle. Problemets omfang vil (med aktuell praksis) være væsentligt større for produktion af smågrise end for slagtesvin. Problematisk

niveauer af kobber kan på de mest belastede arealer nås på få årtier. Koncentrationen af zink er allerede problematisk på store arealer, og andelen af jorder med problematiske niveauer af zink vil formodentlig stige. Denne vurdering er i god overensstemmelse med udenlandske studier som beskrevet i fx Monteiro mfl., (2010) og VKM (2014).

Der er ikke i dette projekt foretaget målinger eller beregninger med henblik på at vise, om de målte og beregnede koncentrationer i jord og det beregnede optag i afgrøder og udvaskning fra jorden kan/vil lede til problematiske koncentrationer i afgrøder og/eller akvatiske recipienter. Dette kan ikke afvises, jf. de omtalte udenlandske undersøgelser, men har ligget udenfor rammerne af dette projekt. En speciel problemstilling vil være, hvis arealanvendelsen ændres, så pH falder hurtigt på et areal, fx ved tilplantning med nåletræer.

9.4 Afhænger denne vurdering af de anvendte jordkvalitetskriterier?

Som det bl.a. fremgår af Tabel 3, er der en vis forskel i de nul-effekt koncentrationer, der anvendes i forskellige sammenhænge. Vurderingen af, om de nuværende og beregnede fremtidige jordkoncentrationer er problematiske, afhænger naturligvis af, hvilke nul-effekt koncentrationer, der anvendes. I denne rapport er vurderingerne baseret på de nye, forholdsvis gennemarbejdede nul-effekt koncentrationer offentliggjort i EU-REACH regi. Nul-effekt niveauet i rapporten er således EU's nul-effekt værdi, for zink adderet til danske baggrundskoncentrationer i natur- og skovjorder. I forhold til slambekendtgørelsens grænse for indhold i jorder, hvor der må udbringes affaldsstoffer og tidligere anvendte danske jordkvalitetskriterier, er de anvendte nul-effekt værdier for kobber højere for lerjorder og lavere for sandjorder, medens nul-effekt grænsen for zink er lavere for både ler- og sandjorder. De anvendte værdier er, i modsætning til tidligere anvendte grænser, jordbundsafhængige. At der i denne undersøgelse i modsætning til tidligere danske undersøgelser er fundet væsentlige arealandele med problematiske koncentrationer af zink hænger primært sammen med opdateringen af nul-effekt koncentrationerne. Der er kun fundet enkelte værdier over det tidligere anvendte danske jordkvalitetskriterie og slambekendtgørelsens grænse på 100 mg Zn kg⁻¹. For de beregnede ligevægtskoncentrationer ved fortsættelse af aktuel praksis vil der imidlertid også være væsentlige arealandele, hvor denne værdi overskrides.

9.5 Er der regionale forskelle?

De fundne regionale forskelle ved en statistisk behandling af data er relativt små og vanskelige at fortolke (Tabel 11). Hertil skal dog bemærkes, at specielt ejendomsprogrammet nok er for lille til, at en sikker bestemmelse af eventuelle regionale forskelle kan forventes at kunne vises.

De landsdækkende beregninger (for markblokke) viser et interessant mønster, hvor de beregnede ligevægtskoncentrationer (Figur 19) i store træk følger fordelingen af svin/anvendelsen af svinegylle. Dette er i modsætning til den geografiske fordeling, der blev fundet ved kvadratnetsundersøgelsen i 1992 (Jensen m.fl., 1996), hvor de højeste koncentrationer blev fundet mod øst, hvor der er tungere jorder og lavere nedbørsoverskud. Dette er naturligvis ikke overraskende, men kunne pege i retning af, at en kommende opfølgning på denne undersøgelse kunne fokusere på ejendomme med en stor produktion af svinegylle.

9.6 Hvilken opfølgning på undersøgelsen kan foreslås?

De foretagne analyser understøtter vurderingen fra 1992-undersøgelsen (Jensen m.fl., 1996) af, at denne type undersøgelser kan/bør opfølges ca. hvert 10. år. Hvis der gennemføres politikker på området, hvis effekt ønskes fulgt på kortere sigt, vil det være nødvendigt med et mere omfattende undersøgelsesprogram. Det vil endvidere være ønskværdigt/anbefalelsesværdigt fremover at opbygge et bedre datagrundlag vedr. den faktiske anvendelse af kobber og zink i svinefoder og som veterinært medicin. Datagrundlaget for modelberegning af jordkoncentrationer og udvaskning bør forbedres, og skæbnen af metallerne i miljøet på længere sigt bør belyses, herunder risikoen for problematiske koncentrationer i afgrøder og i vandmiljøet, både ved aktuel praksis og ved skift i arealanvendelse. Undersøgelsen vil kunne følges op af mere målrettede undersøgelser, der især bør fokusere på landbrug med smågrise.

9.7 Hvad betyder usikkerheder for de fundne resultater?

De indsamlede data er i rapporten behandlet på to forskellige måder, dels en ren statistisk behandling, dels som grundlag for modelberegninger. De to betragtningsmåder supplerer hinanden og bidrager begge til at understøtte rapportens konklusioner. Ved den statistiske behandling er der for alle betragtede sammenhænge foretaget en vurdering på baggrund af både signifikans og forklaret varians. Signifikansen anvendes til at vurdere, om størrelsen og kvaliteten af det anvendte datagrundlag reelt rækker til, at der kan konkluderes på baggrund af analysen. I nogle tilfælde vil den forklarede varians forventes at skulle være lille. Det gælder fx den betragtede sammenhæng mellem udbragte mængder gylle (tons) og udviklingstendenser i metal-koncentrationer på enkelte punkter, fordi der er meget stor variation i gyllens metalindhold, både som følge af forskellig anvendelse på ejendommene og som følge af fx forskel i vandindhold.

Modelberegningerne er værdifulde af to årsager: i) De sikrer, at specielt beregninger af den fremtidige udvikling er i overensstemmelse med fysisk/kemiske love som massebevarelse (at stof ikke forsvinder eller opstår af sig selv), og at en fortsat tilførsel på arealer, hvor koncentrationen er stigende, ikke beregnes at føre til uendelige koncentrationer, ii) de muliggør anvendelse af landsdækkende data for gylleudbringning, jordbund og vandbalancer ved opskalering af de fundne resultater. Der er anvendt en forholdsvis simpel model, hvor en enkelt parameter (for ældning) er kalibreret på baggrund af de observerede udviklingstendenser og spredningen heri. Dette er i overensstemmelse med 'bedste praksis' for denne type beregninger. I forhold til tilsvarende udenlandske undersøgelser er det imidlertid unikt, at observerede trends kan baseres på et forholdsvis stort datasæt over 28 år. Robustheden af disse beregninger er nærmere beskrevet i bilag 1.

Som beskrevet er den anvendte model ikke fuldt ud i stand til at reproducere den estimerede variation i udviklingstendenser. Dette kan betyde, at den beregnede fremtidige udvikling i antal markblokke med overskridelse af nul-effekt grænser i det centrale scenario kan være svagt undervurderet for kobber og overvurderet for zink. For zink kan den præsenterede fremskrivning imidlertid undervurdere den fremtidige stigning, fordi der ikke er taget fuldt højde for de seneste års stigning i anvendelse af medicinsk zink.

10 Konklusioner

Undersøgelsen er en opfølgning på tidligere undersøgelser af danske jordes indhold af kobber og zink og betydningen af tilførsler af kobber og zink med svinegylle. Der er i de tidligere undersøgelser ikke fundet koncentrationer i dyrkningsjorden af de to metaller, der var højere end nul-effekt værdier, men undersøgelsesternes resultater pegede på, at en fortsat akkumulering kan blive problematisk på sigt. Nyere udenlandske undersøgelser og en udredning fra den Europæiske Fødevarerikkerhedsautoritet (EFSA) i 2010 har ligeledes peget på, at den nuværende brug af kobber og zink i svineproduktionen på sigt vil kunne udgøre en risiko på følsomme jordtyper med høj belastning, bl.a. i Danmark.

Den her rapporterede undersøgelse omfatter dataindsamling på to niveauer (Kvadratnettet og ejendomme med forskellig driftsform) og modellering på tre niveauer, idet der her også er inddraget et landsdækkende niveau. Der er desuden inddraget data fra tidligere undersøgelser på kvadratnetspunkterne. Undersøgelsen er dermed forholdsvis omfattende og giver en god dækning geografisk og i tid (28 år) og mulighed for at inddrage landbrugspraksis forholdsvis detaljeret. Der mangler dog detaljerede oplysninger om gyllens indhold af kobber og zink tilbage i tid og detaljerede oplysninger om den aktuelle brug af kobber og zink i foder samt af zink som lægemiddel. Samlet set vurderes det imidlertid, at undersøgelsen giver et godt grundlag for at beskrive den aktuelle tilstand og udviklingen i jordens indhold af kobber og zink, specielt for bedrifter med svin. Desuden giver undersøgelsen grundlag for at analysere sammenhængen mellem jordens indhold af de to metaller og driftsform / praksis, samt i hvor stort et omfang de aktuelle niveauer af kobber og zink i jord udgør et miljømæssigt problem og den forventede fremtidige udvikling ved en fortsættelse af den aktuelle landbrugspraksis.

De væsentligste konklusioner er:

Tilførsler af kobber og zink med svinegylle har medført en betydende stigning i jordkoncentrationer for de arealer, hvor gyllen er udbragt. Der er en meget betydelig variation heri fra punkt til punkt, både som følge af forskelle i landbrugspraksis, forskelle i jordbund og nettonedbør, og usikkerhed ved prøvetagning og analyse.

Der er fundet overskridelser af nul-effekt niveauerne for zink i jord i 45 % af de foretagne målinger med den største andel af overskridelser på sandjorder. Det forholdsvis høje niveau i forhold til tidligere undersøgelser hænger til dels sammen med nye, lavere nul-effekt niveauer for zink anbefalet af EU. For kobber er der fundet overskridelser af nul-effekt niveauerne i én måling.

Brugen af kobber og zink i svinefoder har (som gennemsnit for de 28 år med målte data, baseret på en lineær trend) medført en stigning i jordkoncentrationerne af størrelsesorden 21 til 28 % for kobber. Den observerede stigning for zink er 41 % fra 1998 til 2014 og 30 % fra 1986 til 2014, idet der er observeret et mindre fald i middelkoncentration fra 1986 til 1998. Hvis der kun betragtes punkter med sammenhørende værdier, kan 24 % af jordindholdet i 2014 tilskrives akkumulering siden 1998.

En fortsættelse af den nuværende praksis kan medføre en væsentlig stigning i andelen af arealer, hvor nul-effekt niveauet for zink overskrides, selvom niveauet allerede er højt. Stigningen vil primært være drevet af koncentrationsudviklingen på de arealer, der modtager mest zink. Den præsenterede fremskrivning undervurderer muligvis den fremtidige stigning, fordi der ikke er taget fuldt højde for de seneste års stigning i anvendelse af medicinsk zink. For kobber kan der forventes overskridelser af nul-effekt niveauet på i størrelsesorden 30 – 50 % af arealer, der modtager svinegylle. En fjerdedel af dette niveau kan være nået på 80 år.

Den nuværende anvendelse af kobber og zink i svineproduktionen vil føre til udvaskninger af kobber og zink i mængder, der potentielt kan være problematiske i vandmiljøet. Denne problemstilling er dog ikke nærmere belyst i denne undersøgelse og bør undersøges nærmere.

11 Referencer

Ashmore, M., Shotbolt, L., Hill, M., Hall, J., Spurgeon, D., Svendsen, C., Fawehinmi, J., Heywood, E., Tipping, E., Lofts, S., Lawlor, A., Jordan, C., 2004, Further Development Of An Effects (Critical Loads) Based Approach For Cadmium, Copper, Lead And Zinc, EPG 1/3/188, Final Report for Defra.

Bak, J. & Jensen, J. (1998): Critical Loads for Lead, Cadmium and Mercury in Denmark. A First Attempt for Soils Based on Preliminary Guidelines. Critical Loads. National Environmental Research Institute, Denmark. 38 pp. - Arbejdsrapport fra DMU nr. 96.

Bak, J., J., Larsen, M. M., Pritzl, G., Scott-Fordsmand, J., " A heavy metal monitoring-programme in Denmark", Science of The Total Environment 01/1997; DOI:10.1016/S0048-9697(97)00262-3.

Birkmose, T og Tybirk P, 2013, Svinegyllens sammensætning – indhold og dokumentation, Videncenter for svineproduktion, 2013.

Bednorz C, Oelgeschläger K, Kinnemann B, Hartmann S, Neumann K, Pieper R, Bethe A, Semmler T, Tedin K, Schierack P, Wieler LH, Guenther S. 2013. The broader context of antibiotic resistance: Zinc feed supplementation of piglets increases the proportion of multi-resistant *Escherichia coli* in vivo. *Int J Med Microbiol.* 303(6-7):396-403.

Berg, J., Maja K. Thorsen, Peter E. Holm, John Jensen, Ole Nybroe, Kristian K. Brandt. 2010. Cu Exposure under Field Conditions Co-selects for Antibiotic Resistance as Determined by a Novel Cultivation-Independent Bacterial Community Tolerance Assay. *Environmental Science and Technology* 44: 8724–8728.

Brandt, K.K., Frandsen, R.J.N., Holm, P.E., Nybroe, O., 2010. Development of pollution-induced community tolerance is linked to structural and functional resilience of a soil bacterial community following a five-year field exposure to copper. *Soil Biology and Biochemistry* 42, 748-757.

Christiansen, M.G., 2014, STRUKTURUDVIKLINGEN I DANSK SVINEPRODUKTION 2014, Videncenter for Svinsproduktion, Notat nr. 1429.

CCME 1999a. Canadian Environmental Quality Guidelines. Zink. Canadian Council of Ministers of the Environment, 1999.

CCME 1999b. Canadian Environmental Quality Guidelines. Copper. Canadian Council of Ministers of the Environment, 1999.

Damgaard Poulsen, H. (red), 2013, Normtal for husdyrgødning – 2013 <http://dca.au.dk/aktuelt/nyheder/vis/artikel/nye-normtal-for-husdyrgoedning-er-udarbejdet/>

de Vries W., Römkens, P.F.A.M., Voogd, J.C.H., (200): Prediction of the long term accumulation and leaching of zinc in Dutch agricultural soils: a risk assessment study Wageningen, Alterra, Alterra-report 1030.

De Vries W, Schütze G, Lofts S, Tipping E, Meili, M., Römkens, P.F.A.M. and Groenenberg, J.E. 2005., Calculation of critical loads for cadmium, lead and mercury. Background document to a Mapping Manual on Critical Loads of cadmium, lead and mercury, Wageningen, Alterra, Alterra Report 1104: 143 pp.

EU 2008. European Union Risk Assessment Report. Voluntary risk assessment of copper, copper II sulphate pentahydrate, copper(I)oxide, copper(II)oxide, dicopper chloride trihydroxide. Summary of the Terrestrial Effect Chapter. PNEC derivation for copper in the terrestrial environment.

EU 2010. European Risk Assessment Report. Zinc Metal. EUR 24587 EN – 2010. ISBN 978-92-79-17540-4.

Miljøstyrelsen 1995. Økotoksikologiske jordkvalitetskriterier. Projekt om jord og grundvand fra Miljøstyrelsen nr. 13, 1995.

EFSA 2010. European Food Safety Authority. Pre-assessment of environmental impact of zinc and copper used in animal nutrition. Monteiro S.C, Lofts S., Boxhall A.BA. NP/FEEDAP/2008/01. Accepted for Publication on 26th October 2010.

Grant, R., Blicher-Mathiesen, G. & Andersen, P.M. (2009): Ny lokalberegning af nettonedbør. Vand og Jord 16, 104-108.

Groenenberg, JE, Römbkens PFAM, de Vries W. (2005): Prediction of the long term accumulation and leaching of copper in Dutch agricultural soils: a risk assessment study Wageningen, Alterra, Alterra-report 1278.

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, Geografisk Tidsskrift, 105(2) 15-21, 2005.

Hansen, J.F., Olesen, S.E., Gräber, I., Petersen, J., Østergaard, H.S., Poulsen, H.D. (2005): Grøn viden – Markbrug nr. 315. Anvendelse af kobber og zink i svineproduktion og akkumulering i jorden. Danmarks Jordbrugsforskning.

Hettelingh, J.P., J. Sliggers, J. (eds.) (2007): Heavy Metal Emissions, Depositions, Critical Loads and Exceedances in Europe, VROM-DGM, the Netherlands.

Jensen, J., Bak, J., Larsen, M.M. (1996): Tungmetaller i danske jorder, TEMA-rapport fra DMU, 1996/4, ISBN 87-7772-253-3.

Jensen, J, Brandt A. (2011): Er der en miljörisiko forbundet med medicinering af vore husdyr? Dansk Veterinær Tidsskrift 15, 34-38.

Kirkebæk, M., Bak, J. (1998): Er der risiko for udvaskning af cadmium ved skovrejsning? - Skoven 8: 297-300.

Knudsen, L., Nørgaard, E. (1995): Sammensætning af svinegylle. Rapport fra Landbrugets Rådgivningscenter i Skejby.

Lofts, S., Tipping, E, Lawlor, A.J., Shotbolt, L. (2013), An intermediate complexity dynamic model for predicting accumulation of atmospherically-deposited metals (Ni, Cu, Zn, Cd, Pb) in catchment soils: 1400 to present, Environmental Pollution 180 (2013) 236-245.

Maribo, H., Damgaard Poulsen H. (1999): Tilsætning af uorganisk og organisk kobber til smågrisefoder. Landsudvalget for Svin og Videncenter for Svineproduktion, Den rullende Afprøvning. Meddelelse nr. 437, 12. August 1999.

Miljøstyrelsen (1995): Økotoksikologiske jordkvalitetskriterier. Projekt om jord og grundvand fra Miljøstyrelsen nr. 13, 1995.

Miljøstyrelsen (2009): Spildevandsslam fra kommunale og private renselanlæg i 2005. Orientering fra Miljøstyrelsen nr. 3, 2009.

Martinez MM, Hill GM, Link JE, Raney NE, Tempelman RJ, Ernst CW. 2004. Pharmacological zinc and phytase supplementation enhance metallothionein mRNA abundance and protein concentration in newly weaned pigs. *J. Nutr.* 134(3):538-44.

Martínez MM, Link JE, Hill GM. 2005. Dietary pharmacological or excess zinc and phytase effects on tissue mineral concentrations, metallothionein, and apparent mineral retention in the newly weaned pig. *Biological Trace Element Research* 105: 97-115.

Monteiro, S.C., Lofts, S., Boxall, A.B.A. (2010): Pre-Assessment of Environmental Impact of Zinc and Copper Used in Animal Nutrition, Scientific / Technical Report submitted to EFSA.

Møller, H. B., Jensen, H.S., Tobiasen, L., Hansen, M.N. (2007): Heavy Metal and Phosphorus Content of Fractions from Manure Treatment and Incineration. *Environmental Technology*, 28:12, 1403-1418.

Petersen, J. Østergaard L.F., Christensen B.T. (2009): Miljøbelastende urenheder i handelsgødning. DJF Rapport Markbrug 144.

Posch, M., de Vries, W. (2009): Dynamic modelling of metals – Time scales and target loads, *Environmental Modelling & Software* 24 (2009) 86–95.

Refsgaard J. C., Stisen, S., Højberg, A.L., Olsen, M., Henriksen, H.J., Børgesen, C.D., Vejen, F., Kern-Hansen, C., Blicher-Mathiesen, G. (2011): Vandbalance i Danmark. Vejledning i opgørelse af vandbalance ud fra hydrologiske data for perioden 1990-2010. DANMARKS OG GRØNLANDS GEOLOGI S K E UNDERSØGELSE RAPPORT 2011/77.

Reinds, G.J., J.E. Groenenberg, W. de Vries (2006): Critical Loads of copper, nickel, zinc, arsenic, chromium and selenium for terrestrial ecosystems at a European scale. A preliminary assessment. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1355.

Schwärter, R.C., Grant, R. (2003): Undersøgelse af miljøfremmede stoffer i gylle. Danmarks Miljøundersøgelser. 62 s.- Faglig rapport fra DMU nr. 430.

Tybirk, P., Sloth, M.S., Jørgensen, L., 2015, Normer for næringsstoffer, SEGES http://www.vsp.lf.dk/~media/Files/PDF%20-%20Viden/Normer_foder/Normer%20for%20naeringsstoffer_20%20udgave%202015.pdf

USEPA (2007a): Ecological Soil Screening levels for Zinc. United States Environmental Protection Agency, Washington.

USEPA (2007b): Ecological Soil Screening levels for Copper. United States Environmental Protection Agency, Washington.

VKM (2014): Zinc and copper in pig and poultry production – fate and effects in the food chain and the environment. Vitenskapskomiteen for mattrygghet, Norge. ISBN. 978-82-8259-093-8.

Bilag 1. Prøvetagning og analyser

Prøveindsamlingen er sket ved at Aarhus Universitet i samarbejde med Videncentret for Landbrug i Skejby har identificeret de relevante marker og landmænd, hvorefter disse er blevet kontaktet via brev fra Videncentret for Landbrug i god tid inden prøveindsamlingen. Alle de kontaktede landmænd var villige til at deltage.

Selve prøvetagningen er foretaget af en række danske Landbrugscentre, dvs. LandboSyd, Agrinord, Dansk Landbrug sydhavsøerne, Centrovic, LMO og Heden og Fjorden. Disse har selv kontaktet de relevante landmænd for detaljerne omkring prøveindsamling i jord og gylletanke.

Prøveindsamling, jord

Prøverne er udtaget med jordbor til 25 cm i Loop områder eller til 0-25 og 25-50 cm for prøverne i Kvadratnettet. Hver prøve indsendt til kobber og zink analyse er en blandingsprøve af 16 nedstik (delprøver). De 16 nedstik (delprøver) pr. jordprøve er udtaget, så de i alt omfatter et gennemsnit af delmarken ved, at de 16 nedstik tages omkring GPS koordinaterne indenfor et kvadrat på maks. 50 x 50 meter, fx ved at opdele i fire mindre kvadrater og tage nedstik i hvert hjørne.

Delprøverne er homogeniserede og sammenblandet omhyggeligt i en ren og tør spand, og den sammenblandede jord fyldt i jordprøveæsker, nummererede og forsynet med stregkode, fremsendt fra analyselaboratoriet. I de tilfælde, hvor de ønskede indsamlingskoordinater har været kendt på forhånd, har der været allokeret specifikke beholdere til hvert koordinat/blandingsprøve, som det fremgår nedenfor.

Prøveindsamling, gylle

Alle prøver fra gylletanke er opsamlet fra den primære gylletank efter omrøring. På gårde, hvor der ikke var installeret omrører i selv gylletanken, er denne blevet omrørt ved hjælp af ekstern omrører/propel fra en nærliggende maskinstation.

Analyser

Analyser af Kobber- og zinktal (EDTA ekstraheret) er foretaget af OK Laboratorium for jordbrug i Viborg, der i forvejen har mange af de deltagende landmænd som kunder. Analyser for total kobber og total zink er foretaget på laboratoriet ved Institut for Miljøvidenskab, AU / DCE.

Analyserne er foretaget efter gældende (danske) standarder. Analyserne af totalindholdet af kobber og zink i både jord og gylle er foretaget efter Dansk Standard DS 259⁵, der kort fortalt foreskriver, at en repræsentativt udtaget delprøve af det foreliggende prøvemateriale afvejes i specialrensede glasflasker. 20 ml 7 M salpetersyre tilsættes. Prøveblandingerne destrueres under tryk ved opvarmning i autoklave til 120 °C (200 kPa) i 30 minutter. De destruerede prøver analyseres ved hjælp af atomabsorptionsspektrometri med

⁵ DS 259: 2003 Bestemmelse af metaller i vand, jord, slam og sediment.

flammeteknik (FAAS), idet der anvendes baggrundskorrektion, og måling foretages ved brug af en kalibreringskurve.

Der er foretaget en kvalitetskontrol af måleresultaterne fra undersøgelsen, der bl.a. har omfattet en sammenligning mellem fordelingsfunktioner, forholdet mellem koncentrationer i forskellige dybder mv., hvor tidligere måleresultater har været tilgængelige for de samme målepunkter.

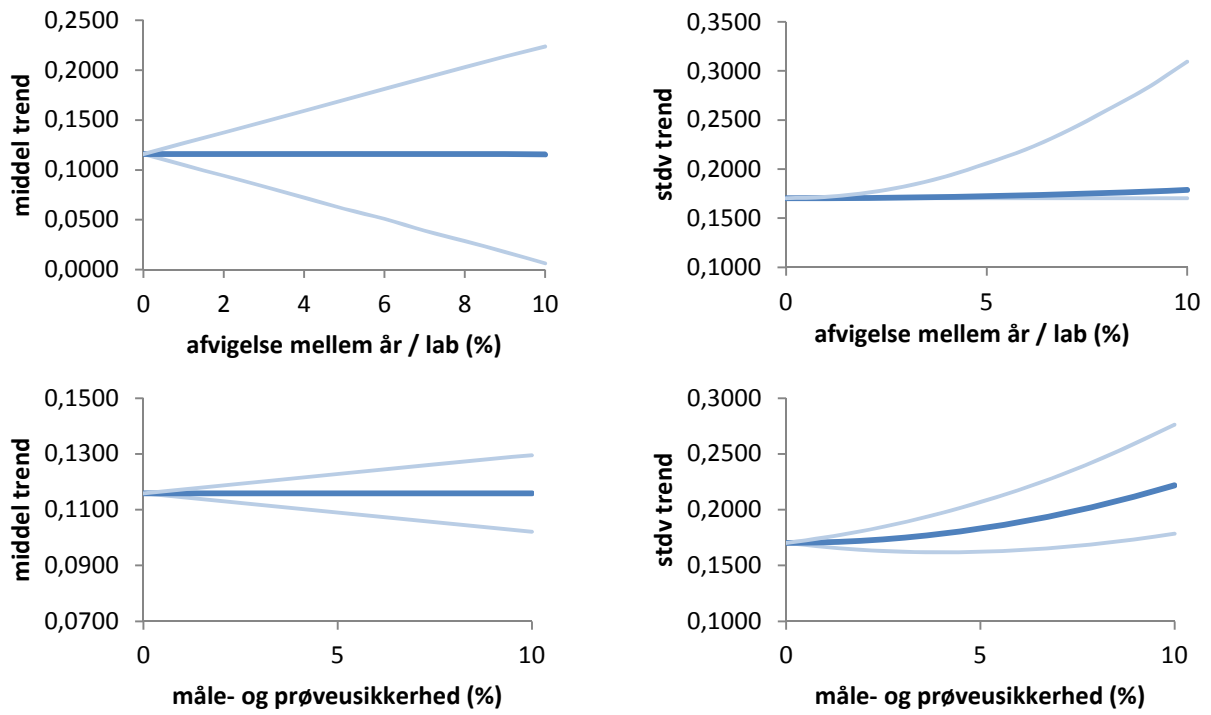
Der er foretaget dobbeltbestemmelse på omkring 10 % af de foretagne analyser for total kobber og – zink (42 prøver). Resultatet heraf er en gennemsnitlig afvigelse (middel RSD) på 7,9 % for kobber og 4,3 % for zink.

Der er analyseret 78 kontrolprøver efter MESS-4 (145,3 mg kg⁻¹ Zn og 34,0 mg kg⁻¹ Cu) og 4 prøver efter PACS-2 (352,34 mg kg⁻¹ for Zn og 294,97 mg kg⁻¹ for Cu). Resultatet heraf er en gennemsnitlig afvigelse (middel RSD) på 4,7 % for kobber og 2,7 % for zink for MESS-4 prøverne (n = 78) og 4,4 % for kobber og 1,0 % for zink for PACS-2 prøverne (n = 2). Genfindingen ligger på 97 – 99 % for zink og 95 – 103 % for kobber.

Usikkerheden som følge af prøvetagning, hvor en prøve sammenstikkes af 16 nedstik, ligger iflg. Leif Knudsen, SEGES (pers. komm.), på 5 – 10 %. Anvendes en prøvetagningsusikkerhed på 7,5 %, findes en samlet usikkerhed som følge af prøvetagning og analyse på knap 9 % for kobber og 8 % for zink.

Specielt de beregnede udviklingstendenser for jordens indhold af kobber og zink kan forventes at være følsomme for usikkerheder i målte værdier af kobber og zink. Specielt systematiske forskelle mellem resultaterne for de (forskellige) laboratorier, der er anvendt til at analysere prøverne i hhv. 1989, 1992, 1998 og 2014, kan have indflydelse på de fundne resultater.

Figur B1.1 viser en følsomhedsberegning (Monte Carlo simulering) for betydningen af måleusikkerheder for de beregnede udviklingstendenser præsenteret i Figur 3 og Tabel 8 (middelværdier og standardafvigelse). Øverst er vist betydningen af evt. systematiske forskelle i måleresultater for de anvendte laboratorier. Figuren viser middelværdi og 95 % konfidensinterval for den beregnede middelværdi og standardafvigelse for udviklingstendenser (trends) for kobber for kvadratnetpunkterne. Som det fremgår, er betydningen af evt. systematiske afvigelser mellem laboratorierne større end betydningen af usikkerheder på de enkelte målinger. Det centrale estimat for middelværdierne er ikke afhængigt af usikkerhederne, og estimaterne er forholdsvis robuste indenfor de fundne og forventede måleusikkerheder, jf. ovenstående. For den estimerede variation i trends er der en bias, således at den observerede variation i trends pga. måleusikkerhed og variation mellem laboratorierne vil være større end den faktiske variation. Dette er ikke en fejkilde i de foretagne beregninger, idet variationen i trends i de foretagne modelberegninger er mindre end de observerede trends (jf. Figur 3 og Figur 11). Den mindre variation i beregnede trends skyldes, at den anvendte model og de anvendte data ikke afspejler al variation som følge af naturgivne forhold og landbrugspraksis.



Figur B1.1. Følsomhedsberegning (Monte Carlo simulering) for betydningen af måleusikkerheder for den beregnede middelværdi og standardafvigelse af udviklingstendenser for jordens indhold af kobber for punkter i Kvadratnettet. Øverst er vist betydningen af evt. systematiske forskelle i måleresultater for de anvendte laboratorier, nederst betydningen af måle- og prøvetagnings usikkerhed på den enkelte prøve. Middelværdi er vist med fed og 95 % konfidensinterval med tynde linjer.

Bilag 2. Jordprøver

Enr.	Mnr.	Dybde cm	Undersøgelse	type	JB	Cut	Znt	Cu	Zn
						mg kg ⁻¹ ts	mg kg ⁻¹ ts	mg kg ⁻¹ ts	mg kg ⁻¹ ts
324	24.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	p		2.5	7.5		
324	22.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	p	6	2.9	6.5	10.92	54.38
324	23.10	0-25	Ejendomsundersøgelse	p	6	1.5	3.9	6.28	47.80
324	23.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	p	6	1.4	4.3	4.70	47.45
324	18.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	p	6	1.2	3.9	8.99	52.15
324	19.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	p	6	0.7	3	4.66	37.45
324	21.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	p	6	1.5	5.3		
NL	2-0	0-25	Ejendomsundersøgelse	sm	4	3.8	17.1	13.13	54.68
NL	1-0	0-25	Ejendomsundersøgelse	sm	4	4.3	18	10.73	52.56
NL	52-0	0-25	Ejendomsundersøgelse	sm	4	3.5	18.8	9.95	51.35
NL	51-0	0-25	Ejendomsundersøgelse	sm	4	2.4	9.6	6.76	37.43
NL	3-0	0-25	Ejendomsundersøgelse	sm	4	3.5	15.1	9.98	44.97
NL	9-0	0-25	Ejendomsundersøgelse	sm	4	4	15.4	10.99	55.66
NL	4-0	0-25	Ejendomsundersøgelse	sm	4	3.9	15.4	10.96	46.24
NL	4-3	0-25	Ejendomsundersøgelse	sm	4	2.5	12.1	8.73	35.19
NL	6-0	0-25	Ejendomsundersøgelse	sm	4	6	16.4	13.76	53.16
NL	5-0	0-25	Ejendomsundersøgelse	sm	4	4.2	17.1	13.22	52.91
NL	10-0	0-25	Ejendomsundersøgelse	sm	4	4.6	15.2	15.14	48.82
NL	8-0	0-25	Ejendomsundersøgelse	sm	4	4.3	12.1	13.03	52.20
NL	21-0	0-25	Ejendomsundersøgelse	sm	1	4.9	21.2	14.51	48.13
NL	1-0	0-25	Ejendomsundersøgelse	sm	1	6.6	22.4	18.76	50.65
NL	24-0	0-25	Ejendomsundersøgelse	sm	1	2.7	7.7	7.46	21.93
NL	22-0	0-25	Ejendomsundersøgelse	sm	1	3.1	10.3	7.99	18.59
NL	11-0	0-25	Ejendomsundersøgelse	sm	1	5.2	18.1	13.48	30.89
NL	3-0	0-25	Ejendomsundersøgelse	sm	1	5.1	16.9	12.51	28.87
NL	12-0	0-25	Ejendomsundersøgelse	sm	1	3.6	11.3	11.15	28.38
NL	10-0	0-25	Ejendomsundersøgelse	sm	1	3.8	17.6	7.38	24.62
NL	71-1	0-25	Ejendomsundersøgelse	sm	1	2.9	8.8	8.71	19.46
NL	71-0	0-25	Ejendomsundersøgelse	sm	1	3.7	7.7	8.76	16.68
NL	74-0	0-25	Ejendomsundersøgelse	sm	1	3.1	8.7	8.47	21.25
NL	76-1	0-25	Ejendomsundersøgelse	sm	1	3.1	5.5	6.29	18.45
NL	76-0	0-25	Ejendomsundersøgelse	sm	1	4.5	9.1	9.27	23.42
NL	91-0	0-25	Ejendomsundersøgelse	sm	1	3	13.6	7.88	33.49
NL	75-0	0-25	Ejendomsundersøgelse	sm	1	3.5	8.1	8.14	20.14
NL	41-2	0-25	Ejendomsundersøgelse	sm	3	2	6.6	4.68	30.94
NL	41-1	0-25	Ejendomsundersøgelse	sm	3	2.3	6.8	5.65	23.37
NL	6-0	0-25	Ejendomsundersøgelse	sm	3	3.6	16.1	11.98	56.58
NL	41-0b	0-25	Ejendomsundersøgelse	sm	3	1.4	4.3	9.49	26.79
NL	7-0	0-25	Ejendomsundersøgelse	sm	1	1.9	2.9	13.98	39.53
NL	4-0	0-25	Ejendomsundersøgelse	sm	3	2.6	2.9	17.31	51.55
NL	1-0	0-25	Ejendomsundersøgelse	sm	1	3.7	18.3	13.91	28.21

NL	2-0	0-25	Ejendomsundersøgelse	sm	1	3.6	16.9	10.75	27.56
NL	40-0c	0-25	Ejendomsundersøgelse	sm	1	2.9	16.1	10.47	30.47
NL	40-0b	0-25	Ejendomsundersøgelse	sm	1	2.2	12.3		
NL	40-1b	0-25	Ejendomsundersøgelse	sm	1	3.3	10.2	10.54	30.96
NL	40-1c	0-25	Ejendomsundersøgelse	sm	1	1.4	8.8	8.54	18.25
NL	40-1a	0-25	Ejendomsundersøgelse	sm	1	1.8	11.7	8.04	16.33
NL	80-0	0-25	Ejendomsundersøgelse	sm	1	1.8	4.6	9.98	24.22
NL	70-0	0-25	Ejendomsundersøgelse	sm	1	3	5.4	9.89	22.89
NL		0-25	Ejendomsundersøgelse	sm		3.9	13.1	14.31	65.53
NL		0-25	Ejendomsundersøgelse	sm		6.6	1	19.34	26.11
NL		0-25	Ejendomsundersøgelse	sm		2.2	4	11.98	49.86
NL		0-25	Ejendomsundersøgelse	sm		6.2	6.2	23.45	54.16
NL		0-25	Ejendomsundersøgelse	sm		4.5	20.8	20.13	59.71
NL		0-25	Ejendomsundersøgelse	sm		3	7.2	11.99	38.76
NL		0-25	Ejendomsundersøgelse	sm		4.7	9.2	18.89	76.71
NL		0-25	Ejendomsundersøgelse	sm		3.7	7.4	15.47	60.74
NL		0-25	Ejendomsundersøgelse	sm		3.2	5.8	14.82	57.20
NL		0-25	Ejendomsundersøgelse	sm		4.9	7.7	22.56	123.70
NL		0-25	Ejendomsundersøgelse	sm		4	6.4	17.57	84.54
NL		0-25	Ejendomsundersøgelse	sm		2.9	6.7	14.03	57.95
NL		0-25	Ejendomsundersøgelse	sm		3.7	7.6	17.63	84.08
NL		0-25	Ejendomsundersøgelse	sm		3	6.5	10.70	52.58
NL		0-25	Ejendomsundersøgelse	sm		1.6	3.4	8.52	42.69
418	1.20	0-25	Ejendomsundersøgelse	sl	6	5.9	11.3	17.83	72.78
418	98.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	sl	6	1.5	4.2	10.82	45.84
418	25.10	0-25	Ejendomsundersøgelse	sl	6	2.5	5.2	9.80	56.31
418	100.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	sl	6	24.6	10.2	47.95	48.61
418	31.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	sl	5	3.4	5.3	13.75	63.83
418	99.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	sl	6	0.7	2.3	4.87	35.92
418	31.10	0-25	Ejendomsundersøgelse	sl	6	2.7	4	12.47	51.76
418	24.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	sl	6	2.7	4.1	10.51	58.32
418	23.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	sl	6	2.3	5.3	12.24	53.94
418	26.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	sl	4	2	3.9	12.43	57.86
418	13.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	sl	5	5.3	8.8	15.66	70.28
418	2.21	0-25	Ejendomsundersøgelse	sl	6	3.1	5	10.07	58.52
418	26.10	0-25	Ejendomsundersøgelse	sl	4	2.4	6.2	10.13	53.00
418	2.11	0-25	Ejendomsundersøgelse	sl	6	3	5.7	14.67	58.01
418	20.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	sl	4	1.7	3.3	8.58	42.11
418	25.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	sl	6	2.7	4.5	10.79	63.79
418	17.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	sl	6	3.3	5.9	13.29	59.94
418	35.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	sl	6	2.4	6.7	12.08	62.57
418	2.20	0-25	Ejendomsundersøgelse	sl	6	2.6	5.5	12.96	58.25
418	12.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	sl	5	3.1	4.6	10.76	58.31
418	21.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	sl	6	2.5	4.7	11.95	62.34
418	14.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	sl	6	2.7	4.6	14.30	60.60
418	2.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	sl	6	2.8	6	13.42	59.50
418	34.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	sl	6	3.1	7.2	12.48	65.14

418	10.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	sl	5	3.4	4.1	9.56	57.14
418	16.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	sl	6	3.1	5.3	13.58	66.91
418	22.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	sl	6	3.9	7.1	13.06	62.02
418	18.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	sl	6	3.5	6.7	15.97	-1.21
418	11.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	sl	6	2.9	3.1	9.04	56.61
418	32.10	0-25	Ejendomsundersøgelse	sl	6	2.6	4.5	12.43	60.44
418	32.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	sl	6	3.3	7.2	13.78	70.31
418	15.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	sl	6	3.4	3.5	9.69	49.73
418	34.10	0-25	Ejendomsundersøgelse	sl	6	2.9	6.5	15.03	62.12
418	3.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	sl	6	2.5	4.2	8.17	50.33
418	1.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	sl	6	2.8	4.9	12.78	50.28
418	33.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	sl	6	2.9	6.3	9.79	63.63
418	6.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	sl	6	2.8	6.4	10.14	50.94
418	4.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	sl	6	2.4	6.6	11.14	53.20
203	31.10	0-25	Ejendomsundersøgelse	sl	1	1.3	2.8	6.04	11.44
203	16.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	sl	1	3.1	5.7	12.48	27.64
203	12.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	sl	1	3.5	5.4	12.04	22.24
203	31.20	0-25	Ejendomsundersøgelse	sl	11	1.3	2.6	4.53	12.91
203	1.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	sl	1	3.3	13.7	10.84	47.87
280	11.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	p	1	2.1	3.7	8.47	30.81
280	1.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	p	4	1.7	4.8	7.67	28.79
280	20.10	0-25	Ejendomsundersøgelse	p	4	1.3	4.1	7.91	26.08
280	13.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	p	1	1.9	4.5	7.47	25.21
280	20.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	p	4	2.2	3.2	10.17	27.62
280	17.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	p	1	0.9	5.2	4.45	31.71
280	17.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	p	1	1	6.3	5.86	30.27
324	10.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	p	6	2.6	6.6	11.78	50.63
324	1.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	p	6	2.5	8.2	11.44	51.02
324	105.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	p	6	3.7	4.6		
324	105.20	0-25	Ejendomsundersøgelse	p	6	2.9	4.2	12.44	62.73
324	2.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	p	6	3.7	5.6	13.20	55.13
324	24.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	p	6	2.6	7.4	11.68	55.41
324	105.30	0-25	Ejendomsundersøgelse	p	6	1.6	3.7	6.11	43.54
324	8.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	p	6	1.5	3	6.88	46.32
425	25.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	p	6	5.5	6.3	19.26	49.81
425	24.10	0-25	Ejendomsundersøgelse	p	6	4.6	5.2	15.16	48.17
425	100.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	p	6	2.3	4.5	9.52	39.79
425	24.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	p	6	6.1	7.1	20.32	57.50
425	6.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	p	6	1.5	3.3	9.11	45.21
425	8.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	p	6	3.2	5.9	11.32	57.24
425	27.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	p	6	1.6	3.3	14.43	52.15
425	4.10	0-25	Ejendomsundersøgelse	p	6	2	4.9	11.16	57.73
425	99.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	p	6	1.2	4.2	7.17	62.29
425	8.10	0-25	Ejendomsundersøgelse	p	6	2.3	3.7	10.72	49.56
425	15.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	p	5	1.2	3.8	5.48	36.22
425	9.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	p	6	1.5	2.3	11.49	47.58

425	6.10	0-25	Ejendomsundersøgelse	p	6	2.5	6.5	11.63	49.24
425	97.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	p	6	0.9	2.6	10.74	47.87
425	17.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	p	6	6.4	7.9	18.79	58.41
425	3.10	0-25	Ejendomsundersøgelse	p	6	2.8	5.4	10.70	46.79
425	12.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	p	6	2.5	3	6.03	17.87
425	5.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	p	6	2.5	4.9	12.59	55.14
425	16.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	p	5	1.9	3	8.39	33.78
425	4.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	p	6	1.8	3.6	12.53	49.13
425	14.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	p	6	1.4	3.1	10.98	48.58
425	3.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	p	6	3.2	5.8	11.61	47.69
425	13.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	p	6	1.9	5.3	9.59	48.49
425	1.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	p	6	1.8	5.6	10.01	50.87
618	53.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	sl	3	2.9	6	8.09	36.33
618	55.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	sl	3	3.1	7	6.06	29.02
618	51.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	sl	3	3.2	6.7	5.64	29.61
618	52.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	sl	1	3.2	6.4	6.16	29.63
618	53.10	0-25	Ejendomsundersøgelse	sl	3	2.7	5.3	5.78	32.93
618	50.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	sl	1	3.1	9.3	8.38	36.38
618	54.10	0-25	Ejendomsundersøgelse	sl	3	3.3	7.9	9.38	34.47
618	54.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	sl	3	2.5	7.1	7.31	33.21
618	50.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	sl	1	2.9	10.2	9.07	39.11
618	53.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	sl	3	2.6	5.2	9.03	31.11
435	101.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	sl	6	3.4	3	13.01	44.50
435	35.30	0-25	Ejendomsundersøgelse	sl	6	4.3	20	17.95	100.88
435	95.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	sl	6	1.9	4.1	10.47	51.66
435	33.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	sl	6	2.2	3.4	9.42	49.88
435	96.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	sl	6	2.1	4	7.98	43.71
435	32.10	0-25	Ejendomsundersøgelse	sl	6	2.4	3.8	10.38	51.20
435	38.10	0-25	Ejendomsundersøgelse	sl	6	2.7	3.5	9.64	40.70
435	23.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	sl	6	4.1	7.9	13.61	59.73
435	1.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	sl	6	3.5	3.9	12.76	55.67
435	10.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	sl	6	2.8	6.3	10.40	60.92
435	9.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	sl	6	2.3	3.3	11.18	53.70
435	37.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	sl	6	2.5	4.2	13.55	49.02
435	11.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	sl	6	3.8	6.7		
435	11.10	0-25	Ejendomsundersøgelse	sl	6	3.5	6.3	16.55	72.23
435	100.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	sl	6	0.8	3.3	8.09	43.51
435	34.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	sl	6	2.8	3.1	11.64	48.49
435	38.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	sl	6	5.7	2.2	15.71	31.33
435	32.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	sl	6	3.3	5.7	12.75	59.42
435	4.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	sl	6	4	7.7	12.78	63.93
435	22.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	sl	6	2.5	5.6	9.73	55.61
435	35.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	sl	6	3.1	5.6	18.41	72.00
707	6.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	p	6	2.5	2.6	11.24	57.00
707	6.10	0-25	Ejendomsundersøgelse	p	6	1.8	2.1	8.81	41.59
707	7.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	p	6	2.3	2.8	11.29	54.13

707	9.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	p	6	3.7	5.6	16.49	57.76
707	1.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	p	6	2.6	2.5	11.56	47.98
707	5.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	p	6	1.4	1.3	9.08	46.01
707	10.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	p	6	5.1	12.7	14.27	70.14
707	1.10	0-25	Ejendomsundersøgelse	p	6	1.9	2.5	6.98	42.50
707	3.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	p	6	1.8	2.1	8.54	45.31
707	4.10	0-25	Ejendomsundersøgelse	p	6	2.3	1.5	9.54	34.16
707	4.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	p	6	4.4	2.9	15.25	36.06
NL	4	0-25	Ejendomsundersøgelse	sm		3	8	10.14	49.08
NL	6	0-25	Ejendomsundersøgelse	sm		2.2	6.8	8.11	35.88
NL	2	0-25	Ejendomsundersøgelse	sm		3.1	7.6	10.08	43.48
NL	3	0-25	Ejendomsundersøgelse	sm		4.2	13.3	15.47	66.13
NL	12	0-25	Ejendomsundersøgelse	sm		2.8	6.9	13.07	52.89
NL	5	0-25	Ejendomsundersøgelse	sm		2.5	6.7	9.81	39.70
NL	44-2	0-25	Ejendomsundersøgelse	sm		3.6	4.5	13.28	39.30
NL	44-4	0-25	Ejendomsundersøgelse	sm		3.5	4	10.67	33.42
NL	32-0	0-25	Ejendomsundersøgelse	sm		2.4	9.1	8.75	42.27
NL	33-0	0-25	Ejendomsundersøgelse	sm		2.4	5.7	12.62	60.38
NL	50-0	0-25	Ejendomsundersøgelse	sm		3.1	4.2	12.18	49.11
NL	51-0	0-25	Ejendomsundersøgelse	sm		3.4	2.8	11.04	42.70
NL	53-0	0-25	Ejendomsundersøgelse	sm		3.9	3.9	12.87	52.60
NL	54-0	0-25	Ejendomsundersøgelse	sm		3.6	4	11.82	47.14
NL	11-0	0-25	Ejendomsundersøgelse	sm		2.3	8.3	9.52	42.52
623	8.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	p	3	4.2	8	11.45	32.01
623	14.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	p	1	3.5	6.1	10.66	28.14
623	9.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	p	3	5	13.6	15.33	42.35
623	3.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	p	3	6.4	13.3	16.68	39.08
623	2.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	p	3	4.4	12.3	11.50	29.94
623	4.10	0-25	Ejendomsundersøgelse	p	3	4	8.3	10.93	31.26
623	44.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	p	1	5.2	8.7	12.34	24.63
623	42.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	p	1	5.5	12.6	10.88	23.23
623	41.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	p	1	4.1	10.5		
623	1.20	0-25	Ejendomsundersøgelse	p	3	3.8	9	10.10	29.88
623	34.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	p	1	1.8	2.7	4.50	17.15
623	31.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	p	1	3.8	7.5	10.91	23.29
623	32.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	p	1	2	5.4	5.79	21.42
623	9.20	0-25	Ejendomsundersøgelse	p	3	4.2	13.1	15.67	49.30
623	6.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	p	3	5.4	13.6	18.48	47.61
623	1.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	p	3	4.9	10	14.82	36.55
623	1.10	0-25	Ejendomsundersøgelse	p	3	4	6.7	14.12	29.51
623	46.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	p	1	2.4	5.6	9.01	23.72
623	5.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	p	1	7	12.8	17.33	36.87
623	7.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	p	1	5.5	11.5	14.07	46.49
623	32.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	p	1	2.2	7.1	7.27	30.11
623	1.20	0-25	Ejendomsundersøgelse	p	3	1.5	7.2	11.25	40.65
637	0.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	sl	5	5.3	23.3	14.80	43.19
637	0.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	sl	3	3.7	13.6	12.13	61.07

637	5.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	sl	3	1.9	4.9	6.09	27.70
637	12.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	sl	1	2.9	6.5	10.18	19.30
637	15.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	sl	3	2	5.5	9.69	29.67
637	16.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	sl	3	3.4	9	11.77	38.06
637	36.10	0-25	Ejendomsundersøgelse	sl	3	1.5	4.7	7.31	17.28
637	0.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	sl	3	5.6	21.1	16.73	56.85
637	10.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	sl	5	5.8	15.4	16.57	37.45
637	32.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	sl	3	6	12.7	14.46	30.19
637	0.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	sl	3	4.7	26.2	12.94	58.79
637	35.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	sl	3	2.1	6.8	8.79	36.28
637	3.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	sl	3	5.7	14.2	15.36	47.01
637	0.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	sl	5	2	16.5	6.63	35.83
637	0.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	sl	3	5.7	12.5	16.24	58.46
637	0.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	sl	3	1.8	17.3	7.13	26.56
637	0.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	sl	3	4.5	17.8	13.49	54.28
637	0.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	sl	5	4.7	18.1	17.24	39.50
637	0.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	sl	3	4.6	14.9	15.37	69.00
637	5.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	sl	3	4.3	15.2	10.52	43.55
637	3.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	sl	3	4.4	15.8	11.29	47.39
637	9.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	sl	5	5.3	19.2	16.59	43.05
NL		0-25	Ejendomsundersøgelse	sm		6	6.4	15.57	52.81
NL		0-25	Ejendomsundersøgelse	sm		8.8	8.5	17.52	42.21
NL		0-25	Ejendomsundersøgelse	sm		5.5	4.5	13.67	45.09
NL		0-25	Ejendomsundersøgelse	sm		3.2	2.6	17.07	46.99
NL		0-25	Ejendomsundersøgelse	sm		5.6	4.1	17.27	50.90
NL		0-25	Ejendomsundersøgelse	sm		4.7	4.1	14.97	55.08
NL		0-25	Ejendomsundersøgelse	sm		4.8	3.9	17.74	54.74
NL		0-25	Ejendomsundersøgelse	sm		5	4.8	12.67	47.14
NL		0-25	Ejendomsundersøgelse	sm		3.9	3.7	14.42	47.86
NL		0-25	Ejendomsundersøgelse	sm		6.8	6.6	18.25	63.59
NL		0-25	Ejendomsundersøgelse	sm		8.3	5.9	20.14	48.74
NL		0-25	Ejendomsundersøgelse	sm		8.6	5.7	19.32	49.94
NL		0-25	Ejendomsundersøgelse	sl		6.7	9.2	17.19	53.12
NL		0-25	Ejendomsundersøgelse	sl		10.5	10.8	39.44	133.30
NL		0-25	Ejendomsundersøgelse	sl		9.8	9.8	21.47	60.78
NL		0-25	Ejendomsundersøgelse	sl		5.9	10.3	14.46	59.34
NL		0-25	Ejendomsundersøgelse	sl		7.3	10.1	20.84	70.43
NL		0-25	Ejendomsundersøgelse	sl		5.6	7.9	19.54	66.87
NL		0-25	Ejendomsundersøgelse	sl		7.5	8.9	21.82	79.25
NL		0-25	Ejendomsundersøgelse	sl		5.7	9.6	17.32	71.33
NL		0-25	Ejendomsundersøgelse	sl		3.8	4.7	10.68	50.52
NL		0-25	Ejendomsundersøgelse	sl		3.9	5.7	10.76	56.95
NL		0-25	Ejendomsundersøgelse	sl		3.2	4.5	12.25	51.85
NL		0-25	Ejendomsundersøgelse	sl		3.4	6.4	12.01	59.77
NL		0-25	Ejendomsundersøgelse	sl		4	6.2	12.73	62.26
NL		0-25	Ejendomsundersøgelse	sm +		3.8	5	11.83	56.33

NL		0-25	Ejendomsundersøgelse	sm +		5	7.2	12.74	60.27
NL		0-25	Ejendomsundersøgelse	sm +		5.1	11.1	15.32	58.50
NL		0-25	Ejendomsundersøgelse	sm +		7.5	19.9	17.55	61.39
NL		0-25	Ejendomsundersøgelse	sm +		4.5	8.9	11.93	63.89
NL		0-25	Ejendomsundersøgelse	sm +		3.8	6.1	13.01	61.79
NL		0-25	Ejendomsundersøgelse	sm +		2.6	5.4	7.48	38.87
NL		0-25	Ejendomsundersøgelse	sm +		4.7	8.6	10.88	38.77
NL		0-25	Ejendomsundersøgelse	sm +		6.7	14.8	15.64	63.24
NL		0-25	Ejendomsundersøgelse	sm +		2.4	3	9.88	50.43
NL		0-25	Ejendomsundersøgelse	sm +		2.4	3.4	8.78	53.18
NL		0-25	Ejendomsundersøgelse	sm +		1.7	2.2	6.14	46.01
NL		0-25	Ejendomsundersøgelse	sm +		1.6	2.3	7.10	39.73
712	1.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	sl	7	2.6	3.9	11.56	62.02
712	2.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	sl	5	2.7	4.1	10.22	48.13
712	4.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	sl	5	1.4	1.1	7.14	31.38
712	3.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	sl	5	1.4	2	8.09	42.49
712	12.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	sl	6	1.9	1.6	9.96	40.61
712	99.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	sl	6	2.5	3.4	10.81	49.16
712	99.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	sl	6	2.3	2.1	12.38	53.95
712	5.10	0-25	Ejendomsundersøgelse	sl	6	1.8	2.1	9.32	43.83
712	99.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	sl	6	2.6	2.9	10.34	67.23
712	5.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	sl	6	1.7	1.9	7.83	52.00
732	11.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	p	6	1.9	1.5	8.85	46.11
732	10.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	p	6	0.5	1.1	4.17	32.42
732	9.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	p	11	1	1	9.07	37.94
732	5.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	p	6	4.7	3.2	16.58	69.04
732	4.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	p	6	0.9	1.1	6.20	46.97
732	7.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	p	6	3	2.6	11.57	54.74
732	1.10	0-25	Ejendomsundersøgelse	p	6	1.2	1.8	8.25	27.79
732	1.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	p	6	2.8	3.7	12.58	60.94
732	2.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	p	6	0.8	0.9	7.13	30.04
732	3.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	p	6	1.8	2.7	12.37	68.04
732	6.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	p	6	2.3	1.5	10.57	44.64
732	6.10	0-25	Ejendomsundersøgelse	p	6	1.9	2.2	9.17	49.21
732	8.10	0-25	Ejendomsundersøgelse	p	4	1.5	2.1	4.98	43.38
732	8.00	0-25	Ejendomsundersøgelse	p	4	1.4	1.5	7.13	41.15
NL		0-25	Loop			3.1	6.4	9.38	46.62
NL		0-25	Loop			6.4	4.5	13.49	49.01
NL		0-25	Loop			2.5	4.9	6.49	52.62
NL		0-25	Loop			2.6	6.5	7.81	53.74
NL		0-25	Loop			2.1	3.8	7.47	46.10
NL		0-25	Loop			1.9	3.4	6.96	44.03
NL		0-25	Loop			1.4	1.9	8.67	48.82
NL		0-25	Loop			2.1	4.5	7.17	47.13
NL		0-25	Loop			2.5	4.4	6.92	42.27
NL		0-25	Loop			2	2.8	8.50	41.08

NL	0-25	Loop		1.9	3.6	10.02	48.13
NL	0-25	Loop		1.5	2.2	8.30	44.20
NL	0-25	Loop		2.5	4.8	10.32	50.24
NL	0-25	Loop		8.7	11.8	22.00	117.92
NL	0-25	Loop		5.9	12.3	17.44	54.78
NL	0-25	Loop		6.1	15.9	15.91	56.82
NL	0-25	Loop		2.2	4.5	14.01	43.75
NL	0-25	Loop		6.3	10.6	14.72	35.40
NL	0-25	Loop		1.8	5	11.37	34.50
NL	0-25	Loop		1.9	2.2	8.33	28.17
NL	0-25	Loop		3.2	5.3	9.42	29.99
NL	0-25	Loop		3	6.1	12.10	38.71
NL	0-25	Loop		2.8	4.9	11.82	40.05
NL	0-25	Loop		14.2	22.4	37.27	130.44
NL	0-25	Loop		2.8	5.5	16.97	54.24
NL	0-25	Loop		3	6.7	14.71	52.31
NL	0-25	Loop		4.3	7.1	10.80	34.35
NL	0-25	Loop		6	11.5	16.96	51.99
NL	0-25	Loop		2.8	7	16.78	44.44
NL	0-25	Loop		4.1	9.7	13.19	37.58
NL	0-25	Loop		4.6	8.8	15.75	45.12
NL	0-25	Loop		5.6	8.8	17.22	61.80
NL	0-25	Loop		3.7	5.8	18.89	60.40
NL	0-25	Loop		4.3	5.9	18.33	55.36
NL	0-25	Loop		4.3	8.8	17.42	52.73
NL	0-25	Loop		4.9	9.1	16.17	57.52
NL	0-25	Loop		2.5	4.4	14.43	48.28
NL	0-25	Loop		4.9	6.4	13.54	44.46
NL	0-25	Loop		3.8	7.2	13.68	47.62
NL	0-25	Loop		5.5	6.3	16.31	51.91
NL	0-25	Loop		5.8	9.5	19.20	67.59
567	0-25	Kvadrat	4	1.8	2.6	6.90	32.13
567	25-50	Kvadrat	4	0.8	1	5.21	22.44
574	0-25	Kvadrat	1	0.8	3.1	4.80	31.87
574	25-50	Kvadrat	1	0.7	2.2	4.81	27.27
577	0-25	Kvadrat	6	2.7	3	10.65	42.26
577	25-50	Kvadrat	6	2.8	1.5	10.36	35.57
727	0-25	Kvadrat	6	4.2	7.9	11.85	50.57
727	25-50	Kvadrat	6	1.9	2.8	10.03	42.65
757	0-25	Kvadrat	6	3.8	5.1	13.68	52.51
757	25-50	Kvadrat	6	1.9	2.1	15.89	52.08
758	0-25	Kvadrat	4	0.8	1.8	3.56	31.78
758	25-50	Kvadrat	4	0.7	1.1	4.14	30.48
742	0-25	Kvadrat	6	1.9	1.3	11.56	49.95
742	25-50	Kvadrat	6	1	0.5	14.21	51.28

739	0-25	Kvadrat	6	2.2	5.6	9.01	49.84
739	25-50	Kvadrat	6	0.9	1.4	7.93	42.37
207	0-25	Kvadrat	3	3.3	15.3	12.44	27.42
207	25-50	Kvadrat	3	3.1	18.1	10.95	27.17
204	0-25	Kvadrat	1	2.7	13.1	9.16	22.73
204	25-50	Kvadrat	1	1.9	20.1	5.93	28.97
220	0-25	Kvadrat	4	2.4	21.9	11.12	52.80
220	25-50	Kvadrat	4	1.8		8.65	50.37
101	0-25	Kvadrat	6	2.1	11	9.89	51.93
101	25-50	Kvadrat	6	1.5	13.8	8.20	52.79
276	0-25	Kvadrat	6	4.4	11.1	14.22	55.80
276	25-50	Kvadrat	6	3.1	8.2	11.56	48.85
097	0-25	Kvadrat	4	3.6	7.9	11.68	38.59
097	25-50	Kvadrat	4	2.4	5.7	9.60	35.34
146	0-25	Kvadrat	4	2.8	5.6	7.78	33.21
146	25-50	Kvadrat	4	2	4.4	7.25	30.25
438	0-25	Kvadrat	4	3.9	10.1	14.64	64.24
438	25-50	Kvadrat	4	3	15.9	16.28	83.65
439	0-25	Kvadrat	4	1.9	7.9	9.19	53.83
439	25-50	Kvadrat	4	1.8	12.3	9.57	58.17
304	0-25	Kvadrat	7	3.9	5.7	15.91	65.06
304	25-50	Kvadrat	7	1.9	2.6	13.69	58.64
289	0-25	Kvadrat	7	2.4	6.9	10.84	60.49
289	25-50	Kvadrat	7	2	17.2	11.22	81.64
285	0-25	Kvadrat	4	3.1	20.1	12.20	43.79
285	25-50	Kvadrat	4	2.9	25.4	6.98	49.07
385	0-25	Kvadrat	6	3.9	13.7	15.09	74.40
385	25-50	Kvadrat	6	3.2	12.7		
387	0-25	Kvadrat	4	2.6	8.2	7.62	39.31
387	25-50	Kvadrat	4	1.5	5.8	7.14	30.83
389	0-25	Kvadrat	4	3.7	13.8	11.30	61.67
389	25-50	Kvadrat	4	2.5	12.2	8.37	58.90
395	0-25	Kvadrat	6	2.6	8.4	8.70	40.14
395	25-50	Kvadrat	6	2.6	12.4	8.11	46.59
122	0-25	Kvadrat	2	3.2	25.9	7.38	49.12
122	25-50	Kvadrat	2	1.9	3.9	7.20	16.44
068	0-25	Kvadrat	4	3.4	9	9.69	30.58
068	25-50	Kvadrat	4	1.5	3.1	4.93	18.49
036	0-25	Kvadrat	4	3.5	7.7	8.82	26.08
036	25-50	Kvadrat	4	1.6	2	6.05	19.09
024	0-25	Kvadrat	4	3	5.1	9.20	30.82
024	25-50	Kvadrat	4	1.9	2.2	8.74	27.98
132	0-25	Kvadrat	4	2.6	2.9	8.86	28.62
132	25-50	Kvadrat	4	1.6	1.4	7.24	24.22
129	0-25	Kvadrat	4	3.7	5.3	12.61	27.57
129	25-50	Kvadrat	4	1	1.5	5.44	18.67

131	0-25	Kvadrat	4	4	4.8	13.14	26.92
131	25-50	Kvadrat	4	2.7	3	7.58	23.33
072	0-25	Kvadrat	4	2.1	2.8	6.27	26.74
072	25-50	Kvadrat	4	0.6	0.5	4.14	13.70
069	0-25	Kvadrat	4	3.7	6.3	11.60	39.98
069	25-50	Kvadrat	4	0.8	0.5	3.99	16.55
461	0-25	Kvadrat	4	1	1.1	6.17	34.94
461	25-50	Kvadrat	4	0.3	0.4	5.14	27.69
812	0-25	Kvadrat	5	1.9	3.8	12.42	80.41
812	25-50	Kvadrat	5	0.7	0.9	8.74	83.89
819	0-25	Kvadrat	7	2	2	14.18	57.23
819	25-50	Kvadrat	7	0.9	0.6	16.73	65.68
633	0-25	Kvadrat	7	2.5	4.9	10.29	50.27
633	25-50	Kvadrat	7	1.5	2	9.08	41.40
635	0-25	Kvadrat	6	1.4	1.3	7.92	43.75
635	25-50	Kvadrat	6	0.6	0.7	9.32	45.45
596	0-25	Kvadrat	6	4.3	4.3		
596	25-50	Kvadrat	6	2.8	1.8	11.30	50.03
593	0-25	Kvadrat	6	4.6	9.5	12.96	55.91
593	25-50	Kvadrat	6	2	3.9	9.09	48.58
592	0-25	Kvadrat	7	2.7	6.3	11.71	62.68
592	25-50	Kvadrat	7	1.1	2	6.38	46.16
446	0-25	Kvadrat	4	1.6	1.4	8.11	34.60
446	25-50	Kvadrat	4	0.7	0.6	4.55	32.34
788	0-25	Kvadrat	6	3.2	5.6	9.76	52.71
788	25-50	Kvadrat	6	2.2	2.2	8.74	49.41
887	0-25	Kvadrat	6	3.8	5.2	10.43	55.71
887	25-50	Kvadrat	6	2.8	2.1	11.32	56.06
878	0-25	Kvadrat	6	2.6	3.2	11.74	51.06
878	25-50	Kvadrat	6	1.4	1	16.93	55.42
882	0-25	Kvadrat	6	1.2	2.9	9.64	65.84
882	25-50	Kvadrat	6	0.3	1	11.34	48.16
852	0-25	Kvadrat	6	2.2	2	13.05	43.18
852	25-50	Kvadrat	6	1.2	1.2	16.39	48.72
850	0-25	Kvadrat	6	1.4	1.4	11.85	27.28
850	25-50	Kvadrat	6	0.4	0.4	4.98	19.91
851	0-25	Kvadrat	6	3.6	7.1	11.26	56.29
851	25-50	Kvadrat	6	1.7	2.2	15.08	52.94
532	0-25	Kvadrat	4	1.7	4.1	9.37	42.24
532	25-50	Kvadrat	4	0.9	2.3	7.46	36.53
698	0-25	Kvadrat	6	3.5	14.2	11.53	65.48
698	25-50	Kvadrat	6	1	6.6	6.05	40.63
830	0-25	Kvadrat	8	3.4	6	15.91	76.12
830	25-50	Kvadrat	8	1.8	5.2	17.31	81.15
831	0-25	Kvadrat	6	5.1	9.3	13.87	57.99
831	25-50	Kvadrat	6	2.1	6.1	7.56	42.41

692	0-25	Kvadrat	6	3.5	14.8	10.80	50.89
692	25-50	Kvadrat	6	1.1	9.1		
827	0-25	Kvadrat	7	3.3	6.8	12.03	52.54
827	25-50	Kvadrat	7	1.8	4	14.29	58.68
828	0-25	Kvadrat	6	3	12.7	12.36	63.70
828	25-50	Kvadrat	6	1	4.8	7.46	49.15
847	0-25	Kvadrat	6	3.3	7.6	12.89	58.85
847	25-50	Kvadrat	6	1.1	5.6		
179	0-25	Kvadrat	1	4.7	9.4	12.37	41.69
179	25-50	Kvadrat	1	2.4	4.3	8.44	23.77
181	0-25	Kvadrat	4	10.1	22.3	26.65	70.34
181	25-50	Kvadrat	4	5.8	10.9	17.12	50.92
694	0-25	Kvadrat	6	2.5	14.2	12.88	62.70
694	25-50	Kvadrat	6	1.8	10.9	10.66	56.80
712	0-25	Kvadrat	2	6.6	27.3	15.90	36.33
712	25-50	Kvadrat	2	2	19.6	5.64	23.71
686	0-25	Kvadrat	4	5.9	11.1	17.69	54.60
686	25-50	Kvadrat	4	2.7	4.5	12.27	43.15
428	0-25	Kvadrat	7	7.8	10	26.39	57.78
428	25-50	Kvadrat	7	6.2	7.4	25.90	57.12
525	0-25	Kvadrat	6	2.3	4.2	8.67	43.62
525	25-50	Kvadrat	6	0.4	0.8	2.63	17.34
390	0-25	Kvadrat	6	5.7	17	18.14	74.00
390	25-50	Kvadrat	6	2.8	6.1	16.52	64.52
552	0-25	Kvadrat	5	4	8.1	11.50	53.81
552	25-50	Kvadrat	5	1.8	3.7	11.02	49.26
339	25-50	Kvadrat	11	0.8	3.6	3.04	10.56
339	0-25	Kvadrat	11	1.8	11.5	10.56	18.64
358	0-25	Kvadrat	4	0.7	1.1	19.17	46.00
366	0-25	Kvadrat	7	6.5	12.6	12.69	48.23
366	25-50	Kvadrat	7	3.1	8.6	5.65	16.81
189	0-25	Kvadrat	4	0.6	1.7	12.60	37.56
189	25-50	Kvadrat	4	4.6	17.1	7.79	20.26
358	25-50	Kvadrat	4	1.9	7.7		
193	0-25	Kvadrat	6	4.5	9.4	15.08	54.73
193	25-50	Kvadrat	6	0.5	0.8	6.53	38.76

Bilag 3. Gylleprøver

Ejendom nr.	Type	Cu	Zn	Ts %	Cu	Zn
		mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹		mg kg ⁻¹ ts	mg kg ⁻¹ ts
526	sm	16,6	70,8	2,20	755	3218
1167	sl	4,3	37	1,00	430	3700
1242	sl	3,8	20,5	2,30	165	891
597	sm	3,6	16,8	0,90	400	1867
116	sm	47,5	145,9	6,50	731	2245
360	sl	11,6	88,1	7,30	159	1207
335	sl	10,6	68,9	8,20	129	840
421	sm	22,2	146,7	1,90	1168	7721
167	sm	13,6	50,5	2,30	591	2196
975	sm	11,7	33,3	1,10	1064	3027
1148	sl	30,7	102,5	5,10	602	2010

Bilag 4. Husdyrhold, ejendomme i LOOP, indberetning 2013 og 2014

Nb. Ejendomme udenfor LOOP er tilfældigt udvalgt blandt ejendomme med mere end 100 DE og primær produktion af svin. For disse ejendomme er bedriftstypen (søer+smågrise eller produktion af slagtesvin oplyst af lodsejeren).

år	loop	enr.	dyr	stald	DE
2013	2	203	Årssøer	Løbe-/drægt.st.. Dybstrøelse	19.5
2013	2	203	Slagtesvin	Fast gulv	87.4
2013	2	203	Smågrise	Dybstrøelse	16
2013	2	203	Årssøer. farestald	Fare st.. kassesti. delvis sp.	8.4
2013	2	203	Heste. 700 kg og derover	Dybstrøelse	1.1
2013	4	418	Slagtesvin	Fuldspaltegulv	23.3
2013	4	418	Smågrise	Fuldspaltegulv	11.7
2013	4	418	Slagtesvin	Fuldspaltegulv	11.8
2013	4	418	Årssøer	Løbe-/drægt.st.. delvis spalte	44
2013	4	418	Slagtesvin (egen polteprod.)	Fuldspaltegulv	2.3
2013	4	418	Årssøer	Løbe-/drægt.st.. fuldspalte	38.8
2013	4	418	Slagtesvin	Fuldspaltegulv	69.8
2013	4	418	Årssøer. farestald	Fare st.. kassesti. delvis sp.	3.5
2013	4	418	Årssøer. farestald	Fare st.. kassesti. delvis sp.	16.6
2013	4	418	Slagtesvin (egen polteprod.)	Fuldspaltegulv	2.3
2013	4	418	Smågrise	Toklimast.. delvis spaltegulv	35.5
2013	4	418	Årssøer. farestald	Fare st.. kassesti. delvis sp.	18.8
2013	4	418	Slagtesvin	Fuldspaltegulv	59
2013	4	418	Smågrise	Fuldspaltegulv	18.1
2013	4	418	Årssøer	Løbe-/drægt.st.. delvis spalte	8.1
2013	4	435	Smågrise	Fuldspaltegulv	6.9
2013	4	435	Smågrise	Fuldspaltegulv	9.9
2013	4	435	Slagtesvin	Fuldspaltegulv	152.6
2013	4	435	Årssøer. farestald	Fare st.. kassesti. delvis sp.	3.6
2013	4	435	Årssøer. farestald	Fare st.. kassesti. delvis sp.	1.6
2013	4	435	Årssøer	Løbe-/drægt.st.. delvis spalte	12.2
2013	6	618	Slagtesvin	Fuldspaltegulv	155.6
2013	6	618	Smågrise	Fuldspaltegulv	50.6
2013	6	637	Slagtesvin	Drænet gulv + spalter (33/67)	120.9
2013	6	637	Smågrise	Drænet gulv + spalter (50/50)	22.3
2013	7	712	Slagtesvin	Drænet gulv + spalter (33/67)	163.5
2014	2	203	Årssøer	Løbe-/drægt.st.. Dybstrøelse	26
2014	2	203	Slagtesvin	Fast gulv	90
2014	2	203	Årssøer. farestald	Fare st.. kassesti. delvis sp.	11.1
2014	2	203	Heste. 700 kg og derover	Dybstrøelse	1.1
2014	2	203	Smågrise	Dybstrøelse	16.6

2014	4	418	Slagtesvin (egen polteprod.)	Fuldspaltegulv	2.3
2014	4	418	Smågrise	Toklimast.. delvis spaltegulv	34.6
2014	4	418	Årssøer. farestald	Fare st.. kassesti. delvis sp.	18.8
2014	4	418	Slagtesvin	Fuldspaltegulv	9.4
2014	4	418	Årssøer. farestald	Fare st.. kassesti. delvis sp.	3.5
2014	4	418	Årssøer. farestald	Fare st.. kassesti. delvis sp.	16.6
2014	4	418	Smågrise	Fuldspaltegulv	17.9
2014	4	418	Årssøer	Løbe-/drægt.st.. delvis spalte	8.1
2014	4	418	Slagtesvin	Fuldspaltegulv	22.3
2014	4	418	Årssøer	Løbe-/drægt.st.. delvis spalte	43.6
2014	4	418	Slagtesvin (egen polteprod.)	Fuldspaltegulv	2.3
2014	4	418	Årssøer	Løbe-/drægt.st.. fuldspalte	38.8
2014	4	418	Slagtesvin	Fuldspaltegulv	67.5
2014	4	418	Slagtesvin	Fuldspaltegulv	59.3
2014	4	418	Smågrise	Fuldspaltegulv	12
2014	4	435	Slagtesvin	Fuldspaltegulv	163.6
2014	7	712	Slagtesvin	Drænet gulv + spalter (33/67)	170

[Tom side]

BELYSNING AF KOBBER- OG ZINKINDHOLDET I JORD

Indhold og udvikling i kvadratnettet og måling på udvalgte brugstyper

Rapporten beskriver undersøgelse af kobber- og zinkindholdet i dyrkningsjord, primært på bedrifter med svin og marker, der modtager svinegylle. Undersøgelsen omfatter dataindsamling på to niveauer (Kvadratnettet og ejendomme med forskellig driftsform). Der er desuden inddraget data fra tidligere undersøgelser på kvadratnet-punkterne. De indsamlede data er analyseret med statistiske metoder og modelberegning.

Tilførslen af kobber og zink med svinegylle har i perioden 1986-2014 øget koncentrationerne i jorden af de to metaller. Specielt indenfor den sidste måleperiode, 1998-2014, har stigningerne været markante med henholdsvis ca. 19 og 24 % stigning i jordkoncentrationer for kobber og zink. For zink er der fundet overskridelser af nul-effekt-niveauerne i 45 procent af de foretagne målinger. For kobber er der fundet overskridelser af nul-effekt-niveauerne i én måling. Det er beregnet at en fortsættelse af den nuværende landbrugspraksis kan medføre en væsentlig stigning i andelen af arealer, hvor nul-effekt-niveauet for zink overskrides, selvom niveauet allerede er højt. For kobber kan der på længere sigt forventes overskridelser af nul-effekt-niveauet på i størrelsesorden 30-50 procent af arealerne, der modtager svinegylle. En fjerdedel af dette niveau kan være nået på 80 år.