

# JTI-rapport

Lantbruk & Industri

**333**

## Tillsatsmedel för flytgödsel – litteraturöversikt och utveckling av testmetod

Lena Rodhe  
Berit Mathisen  
Anna Wikberg  
Johan Malgeryd



JTI - Institutet för jordbruks- och miljöteknik

---

**2005**



# Tillsatsmedel för flytgödsel

– litteraturöversikt och utveckling av testmetod

*Additives for slurry – a review and development  
of a method for testing*

Lena Rodhe  
Berit Mathisen  
Anna Wikberg  
Johan Malgeryd



# Innehåll

Förord.....	5
Sammanfattning.....	7
Summary.....	8
Bakgrund.....	9
Projektets syfte.....	9
Litteraturoversikt .....	9
Mikrobiologiska och kemiska egenskaper hos nötgödsel .....	10
Gruppering av tillsatsmedel efter verkningsätt.....	10
1) Tillsatser med biologisk påverkan.....	10
2) Tillsatser med fysikalisk verkan.....	12
3) Tillsatser med kemisk verkan.....	12
4) Ospecificerade tillsatser .....	14
Analyser .....	14
Försöksmetod .....	16
Laboratorieskala .....	16
Pilotskala .....	18
Stor skala .....	18
Effekter av tillsatsmedel.....	19
Biologiskt verksamma tillsatser.....	19
Fysikaliskt verksamma tillsatser.....	21
Kemiskt verksamma tillsatser.....	21
Utveckling av testmetod .....	22
Material och metod .....	22
Analyser och provtagning.....	22
Gödselns sammansättning .....	23
Fyllning av behållare .....	23
Försöksutrustning .....	24
Försökens genomförande.....	24
Statistiska analyser .....	26
Resultat.....	26
Biologiska och kemiska förlopp .....	26
Gödselns sammansättning .....	29
Jämförelse av skala – 30 liter eller 3m <sup>3</sup> .....	30
Koncentrationen av ammoniak/ammoniumkväve över gödselns yta vid fyra tidpunkter under lagring.....	31
Skiktning och fluiditet .....	32

Sammanfattande diskussion.....	34
Slutsatser.....	35
Referenser .....	36
Bilaga 1. Samlade analysdata från alla försök.....	41
Bilaga 2. Sammansättning av spårämneslösning.....	67

## Förord

I Sverige och andra länder marknadsförs en rad olika tillsatsmedel för stallgödsel. Huvuddelen av preparaten är främst avsedda för flytgödsel. Preparaten sägs ha positiva effekter, bl.a. minska lukt och ammoniakemissioner, förbättra gödselns hanteringsegenskaper och öka tillgängligheten hos växtnäringen. Vid JTI genomfördes under åren 1999-2001 ett projekt som syftade till att ta fram en generellt användbar testmetod för provning av tillsatsmedel för flytgödsel. I denna rapport redovisas resultaten från studierna samt en litteraturstudie.

Forskningsledare Berit Mathisen har planerat och lett projektarbetet samt sammanställt resultaten i en första etapp. Forskare Johan Malgeryd har ansvarat för studierna i pilotskala medan laboratorieingenjör Johnny Ascue Contreras har ansvarat för provtagningar och analyser. Litteraturstudien är utförd av forskare Anna Wikberg. Slutligen har forskare Lena Rodhe uppdaterat litteraturanalysen, utfört den statistiska analysen och sammanställt denna rapport i samarbete med övriga medarbetare.

Ett stort tack riktas till Jordbruksverket, som finansierat studierna.

Uppsala i december 2004

*Lennart Nelson*

Chef för JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik



## Sammanfattning

I ett första steg studerades litteraturen om metodik för att utvärdera tillsatsmedel till stallgödsel under lagring och vilka effekter tillsatsmedel kan ha på t.ex. gödselns egenskaper, gasformiga förluster och lukt. Med litteraturstudien som grund planerades och utfördes försök i olika skalor för att utveckla en testmetod för tillsatsmedel. Testmetoden undersöktes både i pilotskala (behållarvolym 3 m<sup>3</sup>) och i laboratorie-skala (30 l och 5 l).

Lagringsförsöken utfördes i slutna kärl med gasuppsamling med tre eller fem paralleller per försöksled, under 17-20 veckor vid 15°C (laboratieförsök) eller frostfritt/sommarvarmt utrymme (pilotförsök). Nötflytgödsel från 4 olika hämtningstillfällen och med olika sammansättning användes. De definierade substanser som användes som tillsatsmedel var:

- För biologisk påverkan: spårämnesblandning som gynnar anaeroba mikroorganismer
- För fysikalisk påverkan: bentonit (lermineral)
- För kemisk påverkan: fosforsyra (till pH 5,4) eller kalciumklorid (svagt surgörande)

Analyserade parametrar som indikerar biologisk aktivitet var producerad gasmängd och gasens sammansättning (koldioxid och metan) och i gödseln bildning av flyktiga fettsyror, ändring av COD (lösta syreförbrukande ämnen) samt ändring av ammoniumhalt. Övriga kemiska parametrar som analyserades var pH hos gödseln och jämviktskoncentrationen av ammoniak ovanför gödselytan. De fysikaliska parametrarna var skiktningens beteende vid lagringen, fluiditet och skumningstendens.

Det finns en likhet mellan pilot- och laboratorieskala i att båda skalorna speglar de förändringar som sker till följd av biologisk-kemisk aktivitet. Detta innebär att man fortsättningsvis kan arbeta i den lilla skalan, som är betydligt mindre arbetskrävande. Det är då mycket viktigt att homogenisering och provdelning till de individuella behållarna samt uttagning av prov för analys sker med mycket stor noggrannhet för att få liten variation mellan upprepningar. Enbart omblandning före provdelning gav inte så homogen gödsel att alla paralleller gav väl samlade analysdata.

I samtliga försök har vi haft biologisk aktivitet. Mest information ger gasavgång, produktion av flyktiga fettsyror och sänkt pH. COD-analyserna stödjer resultaten, men tillför inte mera och skulle därmed kunna utgå. Ammoniumanalyserna är motiverade om det finns intresse av att se i vilken form kvävet föreligger i efter lagring. Av tillsatserna är det fosforsyra (pH 5,4) som tydligt påverkat gödseln under lagringen. Tillsatsen har inneburit en mycket liten biologisk omsättning utan metanavgång och låg koncentration av ammoniak ovanför gödselytan. Övriga tillsatser har inte haft någon klar effekt.

För den framtagna metoden sker lagringen i slutna och oventilerade behållare för att slippa ta hänsyn till svårbedömda yttre faktorer som gasutspädning och syrepåverkan. Den ger möjlighet att studera relativa skillnader mellan behandlingarna och verkan hos testade tillsatsmedel. Absoluta effekter i verkligheten går dock inte att bestämma i en mindre testskala. För att få tillförlitliga gasanalyser rörande jämviktskoncentrationer är det viktigt med ett litet gasutrymme ovanför gödseln. Skiktningsegenskaperna var särskiljande och mycket tydliga för de olika tillsatserna i laboriebehållarna.

Fortsatta studier bör utvidgas med luktanalyser. Vi vet inte heller hur avvikande resultat som skulle erhållas med svinggödsel som har andra mikrobiologiska och kemiska förutsättningar.

## Summary

Initially, a literature review was done in order to study methodologies used for evaluating different additives for animal slurry and their effects. These additives could have an influence on the physical properties of the slurry, gas losses and odour. Subsequently, with the knowledge drawn from the literature review in mind, experiments were planned and conducted to develop a test method for evaluating the effects of additives during storage of animal slurry. The method was studied both on a pilot scale (storage volume of 3 m<sup>3</sup>) and on a laboratory scale (30 litres or 5 litres).

The storage experiments were conducted in sealed containers with three or five replicates per treatment. The gases produced in the sealed containers were collected during the storage period, 17 to 20 weeks, at 15°C (laboratory scale) or above 0°C/summer temperature indoor (pilot scale). Four types of cattle slurry were included. The defined substances used as additives were:

- For biological influence: trace element mixture for stimulating anaerobic microorganisms.
- For physical influence: bentonite (clay mineral).
- Chemical influence: phosphoric acid for acidification (to pH 5.4) or calcium chloride (slightly acidic).

The following parameters which indicate biological activity were analysed; produced gas volume, compounds of the gas (carbon dioxide, methane), formed volatile fatty acids, change in soluble chemical oxygen demand and change in content of ammonium nitrogen of the slurry. Other chemical parameters that were analysed include the pH of the slurry and the equilibrium concentration of ammonia above the slurry surface in the containers. The physical parameters were separation layers in storage, fluidity (viscosity) and foam appearance.

Both the pilot and laboratory scale reflected the changes caused by chemical-biological activity. Consequently, the laboratory scale could be preferable to use in following experiments, as it requires less manpower. To minimize the variation between the replicates, a large emphasis should be placed on slurry homogenisation, the partition of the farm slurry into the individual containers, and sampling for analyses. The conducted mixing did not seem to be sufficient.

In all experiments and treatments biological activity was shown. The most informative parameters were production of gas, formed volatile fatty acids and reduction in pH. The analyses of chemical oxygen demand support the results, but do not add any additional information and could therefore be excluded. The analyses of ammonia nitrogen are of importance, if there is an interest in the existing form of nitrogen in slurry after storage. The additive, phosphoric acid, significantly affected the slurry during storage. There was very little biological activity and the equilibrium concentrations of ammonia above the slurry surface were low.

The effects of the other additives were not so clear.

According to the method used to evaluate additives, the slurry was stored in sealed and non-ventilated containers to avoid influencing factors such as gas dilution and oxidation, which can affect the process in an unknown way. The test method shows the relative differences between the treatments and the effects of the tested additives. The absolute effects in full scale are, however, hard to determine from

a small test scale. In order to achieve reliable gas analyses of the equilibrium concentrations, it is important to have a relatively low gas volume above the slurry surface in the containers. In the laboratory scale, it was possible to distinguish differences in appearance of the separation layers between the treatments.

In future studies odour measurements should be included. Moreover, results from conducting these experiments on pig slurry are unknown as it has other microbiological and chemical properties than cattle slurry.

## Bakgrund

I Sverige och andra länder marknadsförs en rad olika tillsatsmedel för stallgödsel. Avsikten med tillsatsmedlen är att ändra olika egenskaper hos stallgödsel och påverka bland annat konsistens, emission av lukt och ammoniak, nedbrytning, skiktningsbenägenhet och hygien. Huvuddelen av preparaten är främst avsedda för flytgödsel.

I flertalet fall saknas vetenskaplig dokumentation av de påstådda effekterna. Marknadsföringen bygger ofta på intervjuer med nöjda användare. De försök man refererar till är i många fall utförda på ett sådant sätt att det inte går att dra några säkra slutsatser.

Det finns också publicerade undersökningar över tillsatsmedlens effekt på gödseln. Eftersom kvaliteten på dessa undersökningar är mycket varierande blir slutsatserna tveksamma eller oanvändbara. För en säker bedömning av effekten av olika tillsatsmedel för flytgödsel krävs studier under standardiserade betingelser. Det här redovisade projektet syftar till att arbeta fram en sådan testmetod. I försöken har enbart nötflytgödsel använts.

## Projektets syfte

Syftet med det redovisade projektet var att ta fram en generell testmetod för provning av tillsatsmedel för flytgödsel samt sammanställa idag känd kunskap genom en litteraturstudie. Testmetoden skulle studeras både i pilotskala och i laboratorieskala och innefatta en utvärdering av tillsatsmedels effekter med avseende på ammoniakemission, gödselns omsättning och kemisk-fysikaliska egenskaper.

## Litteraturöversikt

Litteraturstudien över preparat har begränsats till medel som tillsätts under lagring. Tyvärr finns inga studier som följer gödseln vidare till spridning och fram till att plantan tillgodogjort sig växtnäringen i gödseln. Därför går det inte att uttala sig om effekten av tillsatsen för hela hanteringskedjan. Det är tänkbart att en förändrad sammansättning av gödseln efter lagring t.ex. kan ge högre ammoniakavgång efter spridning eller göra så att växtnäringen blir svårtillgänglig för grödan.

Det förekommer även medel som tillsätts i fodret till djuren (Korhonen & Niemelae, 1999) och i något fall där det sätts till gödseln innan spridning t.ex. syra eller nitrifikationshämmare (Pain m.fl., 1994).

## Mikrobiologiska och kemiska egenskaper hos nötgödsel

De mikroorganismer som normalt finns i gödseln är till stor del ett resultat av den mikrobiella aktivitet som finns i djurens mag-tarmkanal. Hos idisslarna sker en stor mikrobiologisk omsättning i vommen med bland annat ett stort antal metanbildare. De organismer som förökar sig i vommen kommer att följa med födan vidare i matsmältningskanalen och blandas upp med den normala tjocktarmsfloran (Barnes, 1986). Beroende på foderstaten kommer olika bakterietyper och nedbrytningsprocesser att dominera. Det stora flertalet är dock anaeroba (syreskyende). När blandningen av osmälta foderrester och bakterier lämnar djuret som fekalier, kan bakterierna utgöra en tredjedel av fekaliernas vikt.

Efter att mikroorganismerna lämnat djuret med fekalierna kan de fortfarande vara mer eller mindre biologiskt aktiva, beroende på den hantering och behandling som gödseln utsätts för (de la Lande Cremer, 1984). Den viktigaste miljöfaktorn är temperaturen. Vid sjunkande temperatur kommer den bakteriella omsättningen att minska och ett kallt flytgödsellager kommer att bete sig som en dålig biogasreaktor med en mycket långsam produktion av metan och koldioxid och små mängder andra gaser. Om pH sjunker kommer metanbildarnas aktivitet att minska ytterligare och det blir en anrikning av illaluktande organiska flyktiga syror.

Två viktiga kemiska jämvikter som har stor betydelse för gödselns miljöpåverkan är ammonium-ammoniakjämvikten och systemet kolsyra-bikarbonat-karbonat. Båda jämvikterna påverkas både av temperatur och pH. Ny gödsel har oftast ett pH strax över 7. Om pH sjunker kommer andelen löst ammoniak i gödseln att minska liksom ammoniakavgången till omgivningen. Samtidigt övergår bikarbonatet till kolsyra och den buffrande förmågan minskar. Vid lågt pH är de olika organiska syrorna flyktiga och gödseln kan upplevas som mycket illaluktande.

När man undersöker effekten av olika tillförda substanser vid gödsellagring är det därför viktigt att dokumentera både de biologiska och de kemiska skeendena. Den biologiska omsättningen kan bestämmas indirekt genom analys av nedbrytningsprodukter och de kemiska förloppen genom analys av nyckelparametrar.

## Gruppering av tillsatsmedel efter verkningsätt

Preparaten och substanserna har i det följande delats upp i fyra grupper efter verkningsätt, nämligen tillsatser för 1) biologisk, 2) fysikalisk och 3) kemisk påverkan samt 4) ospecificerade preparat.

### 1) Tillsatser med biologisk påverkan

Avsikten med preparaten i den här gruppen är ibland att hämma, ibland att stimulera biologiska processer i gödseln. Förändrad biologisk aktivitet kan innebära sänkt pH eller minskad ammoniakhalt i gödseln och därmed kan ammoniakavgången påverkas. I tabell 1 visas dos, avsedd och påvisad effekt och antal studier med de olika tillsatserna. Dosen kan i många fall inte anges eftersom författaren endast hänvisar till rekommenderad dos (ej preciserad) för kommersiella preparat. I vissa fall saknas uppgift om dos.

Papper, potatisstärkelse och malt vete kan tjänstgöra som kolkällor och därmed stimulera mikrobiella processer. Den i tabellen angivna pappersmängden är mycket hög och motsvarar närmast mängden torrsbstans i gödseln. Tillsatserna av potatisstärkelse och vete är också stora.

Tabell 1. Undersökta preparat med avsedd biologisk påverkan.

Tillsats	Avsedd effekt Hämning /Stimulering	Dos Rek=Rekommenderad dos; Lägre, Högre betyder lägre eller högre än rekommenderad dos	Antal studier	Påvisad effekt i studien JA/NEJ	Referens
ADD	Stim	Rek	1	Nej	Zhu, 2000
AddA	Stim	Rek	1	Nej	Andersson, 1994
Agrozyme	–	Rek, 5 ggr Rek	3	Ja	Fabbri m.fl., 2000
Alger	Stim	–	1	Ja	Ammler m.fl., 1997
Algextrakt	Stim	–	1	Nej	Steffens m.fl., 1990
Alghaltiga preparat	Stim	–	1	Nej	Steffens m.fl., 1990
AmericanBioCatalysts	Stim	1:100000	1	Nej	Stinson m.fl., 1999
Antimikrobiella veg.oljor: Carvacrol och Thymol	Häm	2,5g/l	1	Ja	Varel, 2002
Bio-Safe	Stim	Rek	1	Ja	Zhu m.fl., 1996
Biosuper	Häm	Rek	1	Ja	Martinez m.fl., 1997
Biosuper	Häm	Lägre, Rek, Högre	3	Ja	Martinez m.fl., 1997
CATADD	Stim	Rek	1	Nej	Zhu, 2000
CHPT (cyklohexylfosfortriamid) Ureashämmare	Häm	10 mg/l	2	Ja	Varel, 1997
Cyanamid	Häm	–	2	Ja	Steffens m.fl., 1990
Filtrerpapper	Stim	2,5 % vikt/vikt, 5 % vikt/vikt	2	Ja	Subair m.fl., 1999
Kopparsalt	Häm	–	2	Ja	Steffens m.fl., 1990
Kopros	–	Rek, 5 ggr Rek	3	Nej	Fabbri m.fl., 2000
Neutrum	–	Rek, 5 ggr Rek	3	Ja	Fabbri m.fl., 2000
Odorless	Stim	Lägre, Rek, Högre	3	Nej	Martinez, 1997
Omeobios	–	Rek, 5 ggr Rek	3	Ja	Fabbri m.fl., 2000
Pappersmassa	Stim	2,5 % vikt/vikt, 5 % vikt/vikt	2	Ja	Subair m.fl., 1999
Papperspåsar	Stim	Rek	2	Ja	Subair m.fl., 1999
Potatisstärkelse	Stim	1,2 kg ts/svin och vecka	1	Ja	Hendriks & Vrielink, 1997
PPI – fenylfosfordiamidat ureashämmare	Häm	10 mg/l	1	Ja	Varel, 1997
Shac	Stim	Rek	1	Ja	Zhu m.fl., 1996
Tidningspapper	Stim	2,5 % vikt/vikt, 5 % vikt/vikt	2	Ja	Subair m.fl., 1999
WestBridge	Stim	1:100 000	1	Nej	Stinson m.fl., 1999
Mald vete	Stim	1,3 kg ts/svin och vecka	2	Ja	Hendriks & Vrielink, 1997
X-Stink(LF1)	Stim	Rek	1	Ja	Zhu m.fl., 1996

## 2) Tillsatser med fysikalisk verkan

Nedanstående tillsatser (tabell 2) är avsedda att hämma emissioner till luft genom olika typer av fysikaliska processer. Tillsatserna medför emellertid också i några fall en kemisk påverkan. Fysikaliskt verksamma tillsatsmedel som lermineral och torv kan adsorbera och koncentrera exempelvis ammoniumjoner. En annan tillsats, *Yucca schidigera*extrakt, kan också adsorbera ammoniak. Oljor som rapsolja samt även torv kan utgöra täckning på ytan av ett gödsellager och därigenom minska avgång av gaser såsom ammoniak men är också biologiskt nedbrytbara och fungerar då som kolkällor.

Tabell 2. Tillsatser som avses ha fysikalisk påverkan i flytgödsel.

Tillsats	Dos Rek=Rekommenderad dos	Antal studier	Påvisad effekt i studien	Referens
Euromestmix® (Innehåller kalk och lermineral)		1	Ja, tendens	Chapuis-Lardy m.fl., 2003
Lavastensmjöl	–	1	Nej	Ammler m.fl., 1997
Lermineral	–	1	Nej	Steffens m.fl., 1990
Micro-aid	1,33 ggr Rek	1	Nej	Patni, 1992
Microaid (MA) (innehåller 30 % <i>Yucca schidigera</i> extrakt)	600 ppm Rek. dos, 1200, 2400, 4800 ppm	2	Ja	Kemme m.fl., 1993
Neutromix	Rek, 5 ggr Rek	3	Nej	Fabbi m.fl., 2000
Rapsolja	–	1	Ja	Ammler m.fl., 1997
Vitmossetorv	20, 40, 80 g/ kg	3	Ja	Al-Kanani m.fl., 1992
Vitmossetorv	20 cm flytande lager	1	Ja	Patni, 1992

## 3) Tillsatser med kemisk verkan

Tillsatserna i tabell 3 är avsedda att hämma emissioner av ammoniak till luft.

Många av preparaten i tabell 3 är surgörande. Svavelsyra, salpetersyra och fosforsyra sänker pH effektivt men är starkt frätande och kan därmed vara svåra att hantera. Effekten av svavelsyra och salpetersyra kan minska på grund av mikrobiell aktivitet eftersom de kan brytas ned till svavelväte respektive luftkväve (N<sub>2</sub>). Fosforsyra är relativt dyrt, men påverkas inte mikrobiellt. Mjölksyra och ättiksyra är inte lika frätande, men kan även de brytas ned i en anaerob miljö. Substansen superfosfat, som även ingår som huvudbeståndsdel i Stalosan, Stall-Super och Kemira 2, har en surgörande effekt. Detta gäller även kalciumklorid. Sådana kemikalier som aluminiumklorid, aluminiumsulfat och järnklorid används idag på reningsverk som fällningskemikalier för fosfat. Även de är svagt surgörande.

Både bränd kalk och flygaska kan tänkas höja gödselns pH.

Krita och kvartspulver tillsätts enligt ovanstående tabell i mycket låga doser och effekten skall enligt uppgift vara ”syreinformerande”, dvs. gynna processer där det finns tillgång till syre (Hörnig m.fl., 1997). Även en del av de kommersiella produkterna tillsätts i mycket låga doser.

Mot lukt används bland annat CPPD, som uppges vara ett kemiskt oxidationsmedel.

Tabell 3. Tillsatser som avses påverka gödselkemin och därigenom hämma ammoniakavgången.

Tillsats	Dos Rek=Rekommenderad dos; Lägre, högre betyder lägre eller högre än rekommenderad dos	Antal studier	Påvisad effekt i studien	Referens
Alliance®	300ppm/350ppm	1	Ja	Heber m.fl., 2000
Aluminiumklorid, AlCl <sub>3</sub>	1 % vikt/vikt	1	Ja	Bushee m.fl., 1999
Aluminiumsulfat, Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	1 % vikt/vikt	1	Ja	Bushee m.fl., 1999
Bränd kalk, CaO	0,2 % vikt/vikt	2	Nej	Amberger & Gutser, 1989
CPPD kemiskt oxiderande	Rek	1	Ja	Zhu m.fl., 1996
Deodorase	Lägre, Rek, Högre	3	Nej	Martinez m.fl., 1997
Flygaska	Rek	1	Nej	Andersson, 1994
Fosforsyra, H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	Tillsats till pH 4, 5, 6	3	Ja	Al-Kanani m.fl., 1992
Gesso	Rek och 5 ggr Rek	3	Nej	Fabbri m.fl., 2000
Gips (phosphogypsum)	5, 10, 15, 20 viktprocent	1	Nej	Prochnow m.fl., 2001
Gips, CaSO <sub>4</sub> .xH <sub>2</sub> O	1 % vikt/vikt, 3 % vikt/vikt	2	Ja	Termeer & Warman, 1993
Järnklorid, FeCl <sub>3</sub>	1 % vikt/vikt	1	Nej	Bushee m.fl., 1999
Järnsulfat, FeSO <sub>4</sub>	Rek och 5 ggr Rek	3	Nej	Fabbri m.fl., 2000
Kalciumfosfat, CaPO <sub>4</sub>	Tillsats till pH 4, 5, 6	3	Ja	Al-Kanani m.fl., 1992
Kalciumklorid, CaCl <sub>2</sub>	Rek och 5 ggr Rek	3	Ja	Fabbri m.fl., 2000
Kemira No 15	Rek	1	Nej	Andersson, 1994
Kemira No 2.	Rek	1	Ja	Andersson, 1994
Kemira No 5	Rek	1	Nej	Andersson, 1994
Fem kommersiella produkter för luktreducering	Rek	1	Nej	Powers m.fl., 1999
Krita ("syreinformation")	0,01-0,02 % vikt/vikt	-	Nej	Hörnig m.fl., 1997
Kvartspulver ("syreinformation")	0,01-0,02 % vikt/vikt	-	Nej	Hörnig m.fl., 1997
Mjölksyra	Tillsats till pH 3,8, 4,3, 4,8	-	Ja	Hörnig m.fl., 1997
Mjölksyra	Tillsats till pH 6	2	Ja	Berg m.fl., 2004
MPC – kemiskt emulgeringsmedel	Rek	1	Ja	Zhu m.fl., 1996
NX 23	Lägre, Rek, Högre	3	Ja	Martinez m.fl., 1997
NX23	Lägre, Rek, Högre	1	Ja	Martinez m.fl., 1999
PenacG	Rek	1	Nej	Andersson, 1994
Pit Boss	1: 60000	1	Nej	Stinson m.fl., 1999
Restprodukt från ättiksyraindustrin, pH 1,8	Tillsats till pH 5,5	2	Ja	Hendriks & Vrielink, 1997
Råfosfat	1 % vikt/vikt, 3 % vikt/vikt	2	Nej	Termeer & Warman, 1993
Salpetersyra, HNO <sub>3</sub>	Tillsats till pH <4,5	1	Ja	Steffens m.fl., 1990
Stall-Super, innehållande mald superfosfat	1 % vikt/vikt	2	Ja	Jürgens, 1987
Stalosan	Rek	1	Ja	Andersson, 1994
Stalosan	Rek	1	Ja	Martinez m.fl., 1999
Stalosan	Lägre, Rek, Högre	3	Nej	Martinez m.fl., 1997
Superfosfat	5 kg/m <sup>3</sup>	1	Nej	Steffens m.fl., 1990
Superfosfat	1 %, 3 % (vikt/vikt)	2	Ja	Termeer & Warman, 1993
Superfosfat, enkel och trippel, 2 syrakoncentrationer vardera	5, 10, 15, 20 viktprocent	1	Ibland	Prochnow m.fl., 2001
Svavelpulver, S	41,163, 405 g/kg	1	Nej	Al-Kanani m.fl., 1992
Svavelsyra, H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Tillsats till pH 4, 5, 6	3	Ja	Al-Kanani m.fl., 1992
Vätecyanamid	0,95 l/m <sup>3</sup>	1	Ja	Patni, 1992

#### 4) Ospecificerade tillsatser

I en referens påträffades fyra Odefinierade tillsatsmedel som testats med avseende på lukt men saknade effekt vid angiven dos. Tillsatserna presenteras i tabell 4.

Tabell 4. Tillsatsmedel med odefinierad sammansättning avsedda för luktreduktion.

	Dos Rek=Rekommenderad dos; Lägre, högre betyder lägre eller högre än rekommenderad dos	Antal studier	Påvisad effekt i studien	Referens
Agri-Scents	1,33 ggr Rek	1	Nej	Patni, 1992
Biosurge	1,33 ggr Rek	1	Nej	Patni, 1992
Naturalcolorcatalyst (NOC)	1,33 ggr Rek	1	Nej	Patni, 1992
Roebic	1,33 ggr Rek	1	Nej	Patni, 1992

#### Analyser

Provtagningarna har genomförts i gödselphas och i gasfas. De analyserade parametrarna kan indelas i fyra kategorier: biologiska, fysikaliska, kemiska och sensoriska och anges i tabell 5. Huvuddelen är av kemisk natur, men speglar ändå i allmänhet resultat av biologiska processer. Analyserna har i regel genomförts enligt standardförfaranden.

Flest antal analyser har gjorts med avseende på kväveomsättning och ammoniakavgång. I 17 av referenserna har man analyserat ammoniak, i 8 totalkväve och ammoniumkväve. I övrigt har sådant som t.ex. växtnäringsinnehåll, tungmetaller och spridningsegenskaper undersökts.

Tabell 5. Analysparametrar och analysfrekvens.

Typ av parameter Biologisk/ fysikalisk/kemisk	Gasfas/gödselfas	Parameter	Antal referenser	
Biologisk parameter	Gödselfas	Bakterier, antal aeroba	2	
		Bakterier, coliforma	1	
Fysikaliska parametrar	Gödselfas	Konduktivitet	1	
		Sedimentering	1	
		Torrsubstanshalt, TS	5	
		Viskositet	2	
		Organiskt material (glödförlust), VS	1	
Kemiska parametrar	Gasfas	Ammoniak, NH <sub>3</sub>	20	
		Koldioxid, CO <sub>2</sub>	4	
		Lustgas, N <sub>2</sub> O	2	
		Metan, CH <sub>4</sub>	4	
		Svavelväte, H <sub>2</sub> S	5	
		Dimetylamin	1	
	Gödselfas	Ammoniumkväve, NH <sub>4</sub> -N	8	
		DO (löst syrgas)	1	
		Flyktiga fettsyror, VFA	3	
		Fosfat, PO <sub>4</sub>	2	
		Fosfor, HPO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	1	
		Kalium, K	1	
		Kemisk syreförbrukning, COD	2	
		Koppar, Cu	1	
		Nitratkväve, NO <sub>3</sub> -N	1	
		Totalt Kjeldahlkväve, TKN	8	
		Urea	3	
		Zink, Zn	1	
Sensorisk parameter	Gasfas	Lukt	6	

## Försöksmetod

Försöken har genomförts i laboratorieskala, pilotskala och storskala ("stallskala"). Samtliga försök i laboratorie- och pilotskala är utförda som satsvis lagring. Gränsen mellan laboratorieskala, som är vanligast, och pilotskala har i vår redovisning godtyckligt satts till 100 l eftersom det är den mellanskala som redovisats. Laboratorieskalan har i regel volymer på någon eller några liter. I ett par referenser är volymen från 40 liter och uppåt. I pilotskaleförsöken har man använt mellan 100 och 200 liter och i storskalan flera kubikmeter. Oftast har hela gödselsatsen fyllts i kärnen vid ett och samma tillfälle men i vissa fall har gödseln fyllts på i mindre portioner dagligen under längre tid.

Lagringsförsöken är uppdelade i slutna och öppna respektive ventilerade och oventilerade system. De definieras på följande sätt.

- Slutet och oventilerat: Slutna kärn som endast öppnas vid provtagning.
- Slutet och ventilerat: Slutna kärn som ventileras under kontrollerade betingelser och där frånluften i flera studier provtas med avseende på avgående gaser.
- Öppet och oventilerat: Öppna kärn som förvaras i ett lagringsutrymme med självventilering
- Öppet och ventilerat: Öppna kärn som förvaras i ett lagringsutrymme med aktiv ventilering som tillkommit i samband med försöksupställningen.
- Sekventiellt: Att i samma kärn eller försöksutrustning utföra flera försök tidsmässigt efter varandra. Detta görs i stället för att genomföra parallella försök med samma typ av utrustning under samma tidsperiod.

## Laboratorieskala

I referenserna har vi träffat på 21 olika varianter av laboratorieförsök. De finns beskrivna i tabell 6. I tabellen beskrivs sex slutna, oventilerade, nio slutna, ventilerade, fem öppna, oventilerade och en öppen, ventilerad process. Ungefär hälften har valt oventilerat respektive någon form av ventilation. Endast de slutna processerna kan anses ske under kontrollerade betingelser med avseende på emissioner till luft. Om man i laboratorieskala skall kunna analysera gasavgång utan att behöva ta hänsyn till svårbedömda yttre faktorer som utspädning krävs att systemet är slutet.

Vid jämförelse mellan slutna, oventilerade och slutna, ventilerade system kan påpekas att luftströmmar av olika storlek endast ger olika hastighet för ammoniakavgång. Storleken på luftströmmen kan dock kanske påverka mineralisering och andra biologiska processer genom större syretillförsel. Det slutna, oventilerade systemet utgör en extrem där jämvikt mellan ammoniak i vätskefas och i gasfas kan bildas.

Försökens tidsrymd sträcker sig från 15 timmar till 6 mån beroende på vad det är som studeras. Den vanligaste lagringstiden är en dryg månad.

Tabell 6. Försöksmetodik för lagringsstudier i laboratorieskala.

Skala	Process	Antal paralleller	Tid/temp	Gödselslag	Referens
1,0 kg	Slutet och oventilerat	3	15-25 dygn, 23°C	Svin	Al-Kanani m.fl., 1992
1,0 kg	Slutet och ventilerat	3	15-25 dygn, 23°C	Svin	Al-Kanani m.fl., 1992
Ett par liter		Nöt 12, svin enkelförsök	2 h, rums-temperatur	Svin och nöt	Amberger & Gutser, 1989
Literskala	Slutet och ventilerat	–	–	Nöt och svin	Ammler m.fl., 1997
5 l	Öppet och ventilerat	3	6 veckor, 15°C	Nöt	Andersson, 1994
65 l	Öppet och oventilerat	–	162 dagar, rumstemperatur	svingödsel	Berg m.fl., 2004
45,4 l	Slutet och ventilerat	3	6 dagar, 21°C	Svin	Bushee m.fl., 1999
1,0 l	Slutet och oventilerat	Enkelförsök, 3 delprover	1-3 veckor, 4°C	Nöt	Chapuis-Lardy m.fl., 2003
1,8 l	Slutet och ventilerat	Sekventiellt 3 ggr med kontroll	1 vecka. Omgivnings-temperatur	Svin	Fabbri m.fl., 2000
50 l resp. 75 l	Öppet och oventilerat	Enkelförsök	12 el 6 veckor; resp. 6 mån 11-21°C	Nöt och svin	Hörnig m.fl., 1997
Literskala	Öppet och oventilerat	3, sekventiellt (svin), enkelförsök (nöt)	3-4 veckor omgivnings-temperatur	Nöt och svin	Jürgens, 1987
33,3 g faeces+ 66 g urea eller vatten	Slutet och oventilerat	2	24 h, 40°C.	Svin	Kemme m.fl., 1993
300 g	Slutet och ventilerat	Enkelförsök Ingen kontroll	15 och 160 h, omgivnings-temperatur	Svin	Martinez, J., 1997
30 l	Slutet och ventilerat	2-3. Ingen kontroll	50 dagar, (15-25°C.)	Svin	Martinez m.fl., 1999
0,1 l	Slutet och oventilerat	– Ingen kontroll	22-24°C	Rötad nötgödsel	Powers m.fl., 1999
1,6 l	Slutet och oventilerat	Ingen kontroll	Gasprovtagning efter 1, 2, 3, 4, 5 och 6 veckor	Blandning av kyckling- och nötgödsel	Prochnow m.fl., 2001
93 l	Öppet och oventilerat	Sekventiellt	Veckor/mån omgivnings-temperatur	Nöt och svin	Steffens m.fl., 1990
220 g	Slutet och ventilerat	3	56 dagar Omgivnings-temperatur	Svin	Subair m.fl., 1999
150 g	Slutet och ventilerat	4	1 mån, 25°C	Mjölkkor	Termeer & Warman, 1993
1 l	Öppet och oventilerat	2	Ett par veckor 22-25°C,	Träck från nöt och svin + urin tillsatt	Varel, 1997
1 l	Slutet och oventilerat	2	60 dagar, 25°C	Träck och urin från svin + destillerat vatten	Varel, 2002
50 l	Slutet och ventilerat	3	1 mån, 18-24° C	Svin	Zhu, 2000

## Pilotskala

I tabell 7 visas använd metodik i de fyra pilotskaleförsök som beskrivs i litteraturen. Samtliga försök har gjorts med svinggödsel och i kärl med volymer på 106 till 200 liter.

Tabell 7. Försöksmetodik för lagringsstudier i pilotskala.

Skala	Process	Antal paralleller	Tid/temp	Gödselslag	Referens
200 l	Slutet och oventilerat	3	2 mån, 15-20°C	Svin	Barnett, 1999
183 l	Slutet och oventilerat	4	10 veckor, 13-22°C	Svin	Patni, 1992
161 l	Öppet och oventilerat	2	6 veckor, 15°C	Svin	Warburton m.fl., 1980
106 l	Satsvis med tillopp. Slutet och ventilerat	3	5 veckor, 15-21°C	Svin	Zhu m.fl., 1996

## Stor skala

Försök i stor skala har gjorts antingen i stall med modifierade gödselhanterings-system eller i två stall med parallell hantering på det sätt som redovisas i tabell 8. Alla försöken har genomförts i svinstall.

Tabell 8. Metodik för tillsatsmedelsförsök i stallekvalvert.

Skala	Process	Antal paralleller	Tid/temp	Gödsel- slag	Referens
4500 kg/dygn	Öppet och ventilerat	1 provstall, 1 kontrollstall	9 veckor	Svin	Heber m.fl., 1997
Under spaltgolv i 4 stallar. Utspätt tillsatsmedel sprayas över gödselytan dagligen	Öppet och ventilerat	2 omgångar i 2 provstallar, 2 kontrollstallar	2 mån/ 3 mån, 21-25°C	Svin	Heber m.fl., 2000
Under stallgolv, 7,7 m <sup>3</sup> tas ut varje vecka för separat inblandning av tillsatsmedel och återförs sedan till kulvert	Öppet och ventilerat	2 omgångar slaktsvin, ingen kontroll	3 mån, 19-22°C	Svin	Hendriks & Vrielinks, 1997
Under stallgolv, 7,7 m <sup>3</sup> tas ut varje vecka för separat inblandning av tillsatsmedel och återförs sedan till kulvert	Öppet och ventilerat	3 omgångar slaktsvin, ingen kontroll	3 mån, 19-22°C	Svin	Hendriks & Vrielinks, 1997
4 fack, indelade i fyra bås; 36 svin/fack, ackumulation av gödsel i kulvert från båsen	Öppet och ventilerat	4 paralleller 2 omgångar	5 veckor, inomhus- temperatur	Svin	Stinson m.fl., 1999

## Effekter av tillsatsmedel

I vår litteraturöversikt redovisas resultat från tester av omkring 70 olika tillsatsmedel. Det exakta antalet substanser går inte att avgöra eftersom flera preparatnamn är kommersiella beteckningar. Som meddelas redan i substanstabellerna 1, 2 och 3 uppges mer än hälften av tillsatserna ha påvisbar effekt. Av de biologiskt verksamma preparaten uppges 20 av 29 ha påvisbar effekt, av de fysikaliskt verksamma 5 av 9 och av de kemiska preparaten 23 av 41. I följande avsnitt ges en mer detaljerad resultatbeskrivning för de tillsatsmedel som haft effekt enligt de studerade artiklarna.

### Biologiskt verksamma tillsatser

De uppmätta effekterna av de biologiskt verksamma preparaten kan delas in i fyra olika effektkategorier: minskad ammoniakavgång (8 preparat), bindning av ammoniumkväve (4 preparat), minskad lukt (4 preparat) och inhibering av ureasaktivitet (2 preparat), se tabell 9. Dessutom finns en publikation där man redovisar minskad metanavgång (Martinez m.fl., 1999).

Minskad ammoniakavgång redovisas från försöken med preparaten Agrozyme, Neutrum och Omeobios (Fabbri m.fl., 2000), Biosuper (Martinez m.fl., 1997), cyanamid (Steffens m.fl., 1990) och potatisstärkelse och vetekross (Hendriks & Vrielink, 1997). I dessa försök har tillsatserna av potatisstärkelse och vetekross varit mycket stora, 1,2 respektive 1,3 kg torrs substans per svin och dag (Hendriks & Vrielink, 1997). Detta resultat kan förklaras med ökad koltillgång och därmed ökad mikrotillväxt som i sin tur binder kväve i form av cellmassa. De tre studier, som genomförts av Fabbri m.fl. (2000) har gjorts sekventiellt (tre upprepningar) med hög och låg dos samt kontroll i varje försöksomgång, som varat i en vecka. Det är därför svårt att veta om effekten skulle ha bestått under längre tid eller bara är kortvarig. Steffens m.fl. (1990) rapporterar att cyanamid reducerar ammoniakavgång. Detta står i motsats till vad andra funnit, nämligen att cyanamid ger ökad ammoniakavgång eftersom cyanamid bryts ned till bland annat ammoniak (Jürgens, 1987; Patni, 1992). Cyanamid har dock gett en stark reduktion av svavelväteemissionen (Patni, 1992). Denna effekt har tolkats som en förgiftning av den biologiska svavelomsättningen eftersom cyanidjoner kan bildas vid nedbrytningen av cyanamid.

Försöken med ureashämmarna CHPT och PPDA (Varel, 1997) har gjorts under speciella villkor, nämligen med en blandning av fekalier och steril urin. Lika goda resultat kommer att vara svåra att uppnå i ett normalt gödselhanteringssystem. Försöken visar emellertid att ureashämmarna är verksamma i gödsel- och urinmiljö.

I de fyra framgångsrika försöken med tillsats av papper eller pappersmassa (Subair m.fl., 1999) gjordes tillsatser motsvarande 2,5 och 5 viktsprocent till gödseln, det vill säga 25 eller 50 kg per ton gödsel. Detta innebär i många fall en fördubbling av gödselns torrs substanshalt och utgör ett mycket stort koltillskott och kommer att leda till att kväve binds som mikrobiell biomassa. Tillsatsen kommer också att medföra förändrade förutsättningar för gödselhantering och spridning.

Tre preparat har medfört luktreduktion, Bio-Safe, Shac och X-Stink (Zhu m.fl., 1996). Detta resultat har dock inget samband med gödselns innehåll av ammonium eller flyktiga fettsyror efter behandlingen. Märkligt är att halten organiskt material har ökat jämfört med kontrollen vid tillsats av CPPD och X-Stink. Torrsubstans- och kväveinnehåll varierar också kraftigt mellan försöksleden och kontrollen, vilket innebär att gödseln haft mycket olika sammansättning. Med så varierande försöksresultat verkar det egendomligt att luktreduktionen var så säkerställd. Varel (2002) visar en reduktion i illaluktande substanser efter tillsats av vegetabiliska oljor.

Tabell 9. Resultat vid behandling av svin- och nötgödsel med biologiskt verksamma preparat.

Preparat	Resultat	Referens
Agrozyme	Red av NH <sub>3</sub> -avg., p<0.05	Fabbri m.fl., 2000
Alger	Red NH <sub>3</sub> -emm nöt 11 %, svin 14 %	Ammler m.fl., 1997
Antimikrobiella veg.oljor: Carvacrol och Thymol	Red. av organiska illaluktande föreningar och lösliga fettsyror	Varel, 2002
Bio-Safe	Knapp halvering av VFA, sänkning av luktröskeln med 85 %, p<0.05	Zhu m.fl., 1996
Biosuper	Red NH <sub>3</sub> -avg. med 55 %	Martinez m.fl., 1997
Biosuper	Red CH <sub>4</sub> Hävdar reduktion på mellan 20 och 30 %	Martinez m.fl., 2000
CHPT - cyklohexylfosfortriamid	Inhibitor av ureasaktivitet, håller kvar urea flera veckor, går annars ned på ca 7 h	Varel, 1997
Cyanamid	Red NH <sub>3</sub> -avg., nöt 21 %, svin 13 %	Steffens m.fl., 1990
Filtrerpapper	Binder ammoniumkväve	Subair m.fl., 1999
Neutrum	Red av NH <sub>3</sub> -avg., p<0.05	Fabbri m.fl., 2000
Omeobios	Red av NH <sub>3</sub> - avg., p<0.01	Fabbri m.fl., 2000
Pappersmassa	Binder ammoniumkväve	Subair m.fl., 1999
Papperspåsar	Binder ammoniumkväve	Subair m.fl., 1999
Potatisstärkelse - (kontroll saknas, jämförelse görs med "standardemission)	Red av NH <sub>3</sub> - avg. med 45 %	Hendriks & Vrieling, 1997
PPDA - fenylfosfordiamidat	Inhibitor av ureasaktivitet, håller kvar urea flera veckor går annars ned på ca 7 h	Varel, 1997
Shac	Red av luktröskel med 85 %, p<0.05. Knapp halvering av VFA	Zhu m.fl., 1996
Tidningspapper	Binder ammoniumkväve	Subair m.fl., 1999
Malt vete (kontroll saknas, jämförelse görs med "standardemission)	Red av NH <sub>3</sub> - avg. med 45 %	Hendriks & Vrieling, 1997
X-Stink(LF1)	Red av luktröskel med 85 %, p<0.05	Zhu m.fl., 1996

## Fysikaliskt verksamma tillsatser

Endast 3 av de 8 undersökta fysikaliskt verksamma preparaten (tabell 2) hade någon effekt på ammoniakavgången. Dessa var Microaid (Kempe m.fl., 1993), rapsolja (Ammler m.fl., 1997) och vitmossetorv (Al-Kanani m.fl., 1992; Patni, 1992), (tabell 10) och studierna var utförda med svinflytgödsel. Microaid uppges adsorbera ammoniak och var verksamt endast vid förhöjd dos. Inblandning av torv gav ökad reduktion med ökad tillsats upp till 8 viktprocent. Så stor tillsats ger förändrade flytegenskaper. Vitmossetorv testades dessutom som täckskikt liksom rapsolja. Chapuis-Lardy m.fl. (2003) visade att det fanns en tendens till minskad mängd lösligt fosfor vid tillsats av Euromestmix. Tillsatsen syftar till att minska risken för ytavrinning av fosfor från jordbruksmark.

Tabell 10. Resultat för de fysikaliskt verksamma preparat som gav minskad ammoniakavgång eller minskad mängd lösligt fosfor i gödsel.

Preparat	Resultat	Referens
Euromestmix® (Innehåller kalk och lernineral)	Tendens till att minska mängden lösligt P i gödsel	Chapuis-Lardy m.fl., 2003
Microaid (MA) (30 % Yuccashidigeraextrakt, 35,4 % CaCO <sub>3</sub> 34 % bärrmaterial)	Adsorption av NH <sub>3</sub> . Endast högre dos gav red 22 %	Kempe m.fl., 1993
Rapsolja	NH <sub>3</sub> -avgång red nöt 26 %, svin 36 %	Ammler m.fl., 1997
Vitmossetorv	Tillsats med 1 vikt-% gav reduktion med 53 %, tillsats av 4 % gav reduktion med 69 %, tillsats av 8 % gav reduktion med 90 %.	Al-Kanani m.fl., 1992
Vitmossetorv	20 cm torvlager "Indicate lower ammonia emission"	Patni, 1992

## Kemiskt verksamma tillsatser

Av de 22 preparat (av 41 testade), som redovisas i tabell 11, hade 16 effekt på ammoniakavgången, 2 reducerade lukt och 4 gav minskad metanavgång. Av de verksamma preparaten var 11 stycken starkt surgörande (olika syror eller medel med superfosfat) och tillsatsen har alltså inneburit en pH-sänkning som förklarar den minskade ammoniakavgången. Tillsats av aluminiumklorid, aluminiumsulfat och gips ledde också till låga pH-värden.

För de båda preparat som innebar luktminskning finns inget angivet om verknings sätt.

I fyra undersökningar minskade metanavgången. I tre av dessa var pH lågt. Då avtar metanogenernas aktivitet. Sannolikt var metanavgången reducerad också i de andra försöken med lågt pH.

Tabell 11. Resultat av kemiskt verksamma tillsatser.

Preparat	Resultat	Referens
Alliance® (34% glyoxal, 24% vatten, 18% proprietary surfactants, 10% copper sulphate, 5% benzaldehyde)	24% red av NH <sub>3</sub> -avgången (medel av två). Dock, tillsatsen innebar en 20% utspädning och effekten av en sådan utspädning av gödseln har inte mätts.	Heber m.fl., 2000
Aluminiumklorid, AlCl <sub>3</sub>	26 % red av NH <sub>3</sub> -avgång (medel av tre, ingen spridning angiven)	Bushee m.fl., 1999
Aluminiumsulfat, Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	35 % red av NH <sub>3</sub> -avgång (medel av tre, ingen spridning angiven)	Bushee m.fl., 1999
CPPD, kemiskt oxiderande	Reducerade luktröskeln med 58 %, p<0.05	Zhu m.fl., 1996
Fosforsyra, H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> (olika doser)	Red av NH <sub>3</sub> -avgång vid pH 6 med 90 %, p<0.05	Al-Kanani m.fl., 1992
Gips, CaSO <sub>4</sub> .xH <sub>2</sub> O	Effekt på NH <sub>3</sub> -avgång, red med 15 % vid tillsats av 3 %	Termeer & Warman, 1993
Kalciumfosfat, CaPO <sub>4</sub> (1,1, 11,1, 40,6 g/l)	NH <sub>3</sub> -avgång red med 87 % vid pH 6, p<0.05	Al-Kanani m.fl., 1992
Kalciumklorid, CaCl <sub>2</sub>	Effekt på NH <sub>3</sub> -avgång p<0.001	Fabbri m.fl., 2000
Kemira No2. (superfosfat+gips)	NH <sub>3</sub> -avgång efter en vecka 40 % red, p<0.001, efter sex veckor ingen effekt	Andersson, 1994
Mjölksyra (dos till pH 4,5, 4 % by volume)	NH <sub>3</sub> +CH <sub>4</sub> och N <sub>2</sub> O, red av NH <sub>3</sub> med 90 %, förhindrar N <sub>2</sub> O till dag 60 och även metan	Hörnig m.fl., 1997
Mjölksyra	Red metanavgång	Berg m.fl., 2004
MPC – kemiskt emulgeringsmedel	Red luktröskeln med 85 %, p<0.05, knapp halvering av VFA	Zhu m.fl., 1996
NX 23 – resultat angivet vid rek. nivå	Red av NH <sub>3</sub> -avgång med 23 %	Martinez m.fl., 1997
NX 23- inget underlag, bara siffror	Red av CH <sub>4</sub> med 20-30 %	Martinez m.fl., 1999
Restprodukt ättiksyraindustrin -(kontroll saknas, jämförelse görs med litteraturens "standardemission")	Red av NH <sub>3</sub> med 42 %	Hendriks & Vrieling, 1997
Salpetersyra, HNO <sub>3</sub> (10 l/m <sup>3</sup> )	Red av NH <sub>3</sub> med 90 %	Steffens m.fl., 1990
Stall-Super, innehållande mald superfosfat	Red av NH <sub>3</sub> red med 33 resp 36 % för svin resp nöt	Jürgens, 1987
Stalosan inget underlag, bara siffror	CH <sub>4</sub> -avgång red med 20-30 %	Martinez, 1999
Stalosan (superfosfat, kopparsulfat)	NH <sub>3</sub> -avgång efter 1 vecka 60 % red, p<0.001, red efter 6 veckor p<0.001, 30 % red jämf. med kontroll	Andersson, 1994
Superfosfat	Effekt på NH <sub>3</sub> -avgång, p<0.05, red med 35 % vid 3 %-tillsats	Termeer & Warman, 1993
Superfosfat	Minskar ammoniakavgången till följd av stabilare bindning av ammonium	Prochnow m.fl., 2001
Svavelsyra, H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (1,5 M 39,2, 25,6, 13,6 ml)	NH <sub>3</sub> -avgång red med 75 % vid pH 6, p<0.05	Al-Kanani m.fl., 1992

## Utveckling av testmetod

### Material och metod

### Analyser och provtagning

För undersökning av den biologiska aktiviteten analyserades ämnesomsättningsprodukter med följande parametrar: uppsamling och volymmätning av producerad gasmängd, gasens sammansättning (koldioxid och metan) analyserad med gas-

kromatograf, bildning av flyktiga fettsyror (VFA), (gaskromatograf), COD-innehåll (lösta syreförbrukande ämnen) enligt Standard Methods (APHA, 1995), totalkväve (TKN) och ammoniumhalt (APHA, 1995). Gasprover för analys av koldioxid och metan togs ut via butylgummipropp i behållarlocket med en 5 ml plastspruta.

Övriga kemiska parametrar som analyserades var pH, torrsubstans (TS) och glödförlust (VS), (enligt APHA, 1995) och ammoniakhalt i gasfasen ovanför gödselytan. Provtagningen av ammoniak i gasfasen gjordes genom absorption i oxalsyra i impingerflaskor (Wikberg, 1996) följt av analys enligt standardmetoden (SIS, 1976).

Fysikaliska parametrar som studerades var skiktningsbeteende vid lagringen (visuellt och uppmätt i labskala II-IV), fluiditet (Malgeryd m.fl., 1993) samt skumningstendens. Fluiditeten i början av lagringen mättes efter att tillsatsmedlen hade blandats in i gödseln.

Provtagning på gödseln gjordes före och efter inblandning av tillsatsmedlen och efter en vecka för att undersöka tidiga förändringar. Sedan togs prover vid ytterligare 3 till 4 tillfällen under lagringen, som varade 15-20 veckor. Gasvolymen mättes med tätare intervall men redovisas med samma tidsskala som övriga analyser.

## **Gödselns sammansättning**

Nötflytgödsel hämtades vid 4 tillfällen från två olika gårdar. Målsättningen var att hämta gödsel från fler gårdar, men det visade sig svårt att inom rimligt transportavstånd hitta gårdar med lättillgänglig pumpbrunn och måttlig tillförsel av regn- och spolvatten. Gödselns sammansättning vid försöksstart visas i tabell 1. Gödsel nummer 1, 2 och 3 har en TS-halt på 7-9 %, pH på 7 eller däröver och en ammoniumkvävehalt på 1,4 till 2 g/l. Gödsel nummer 4 hade något lägre pH, TS- och ammoniumkvävehalt samtidigt som halten VFA var högre. Detta tyder på att gödseln dels var mer utspädd, dels att den sannolikt hade förvarats en viss tid i pumpbrunnen så att fettsyrabildningen kommit igång. COD-analysen uteslöts i de senare försöken eftersom värdena inte tillförde försöken någon information.

## **Fyllning av behållare**

Labförsök I: Ca en halv m<sup>3</sup> av nötgödsel 1 hämtades från en mjölkogård med lastbil i en tank (500 liter), som var placerad på flaket. Gödseln i tanken rördes om med hjälp av mindre propelleromrörare driven av en handbormaskin innan labbehållarna på 30 liter fylldes utomhus och sedan fraktades till lab.

Labförsök II och pilotförsök I: Nötgödsel 2 hämtades från samma gård som till labförsök I i en spridartankvagn (3 lass). Pilotskalebehållarna fylldes helt en efter en. Spårelement och bentonit tillsattes under första dagen medan tillsatsen av syra fick utföras under en längre tid (18 dagar) p.g.a. kraftig skumbildning. Därefter fylldes labskalebehållarna med gödsel från motsvarande pilotskalebehållare, lock sattes på samtliga behållare och 30 liters behållarna transporterades till rum med konstant temperatur i laboratorium.

Vid Labförsök III och Pilotskala II: Nötflytgödsel hämtades med tankbil med sugkran från en ny mjölkogård. Samtliga pilotskalebehållare fylldes med samma mängder gödsel från samtliga tankpartier för att få så lika gödsel i alla behållare. Tillsatsmedel blandades in och därefter togs gödsel från respektive pilotbehållare till upprepningen i labbskala. Detta för att säkerställa att gödseln i pilot- respektive labbskala för respektive behandling och parallell skulle vara så lika som möjligt.

Labförsök IV: Nötflytgödsel 4 hämtades igen från den första mjölkogården.

## Försöksutrustning

För pilotförsöken användes 12 stycken 1,5 m höga, 3 m<sup>3</sup> stora gastäta lagringsbehållare gjorda av stål och försedda med siktglas längs ena sidan, se bild 1. Locken hade genomföringar för gastät provtagning och rör för gasuppsamling i plastsäckar. I laborieförsöken användes 12 stycken kolonner av akrylplast med gastätt lock och botten, 1,2 m höga, innerdiameter 0,19 m och med drygt 30 l totalvolym (bild 1). Även dessa hade genomföringar för gasuppsamling och provtagning. I sista försöksomgången gjordes också lagringsförsök i 5 liters glasflaskor, utrustade med motsvarande genomföringar i locken.

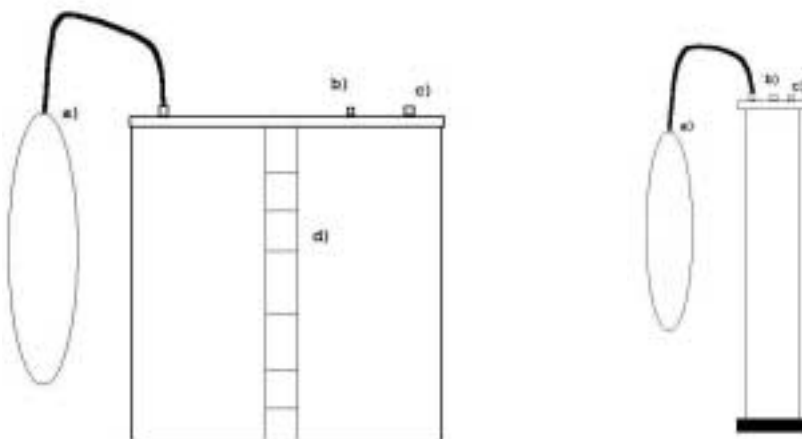


Bild 1. Till vänster visas pilotbehållaren (3 m<sup>3</sup>) och till höger laboriekolonnen (30 l). a) är gasuppsamlingssäcken, b) är genomföring för gödselprovtagning, c) är membran för gasprovtagning och d) är ett siktglas.

## Försökens genomförande

Vid försöksplaneringen har hänsyn tagits till de erfarenheter som publicerats av Warburton m.fl. (1980) med avseende på antal paralleller och lagringstidens längd och analysparametrar. I våra lagringsförsök har vi använt 4 olika testsubstanser: spårämnen (för stimulering av anaeroba mikroorganismer), bentonit (för att adsorbera ammoniumjoner), fosforsyra (pH-sänkande) och kalciumklorid (svagt pH-sänkande och enligt litteraturen ammoniumbindande). Doseringen visas i tabell 12 och har valts på följande sätt. Spårämnemängden utgår från sammansättningen i en näringslösning för odling av anaeroba bakterier (kallas 1×BM, se bilaga 2). Högre doser används för stimulering av biogasprocesser. I våra försök har vi använt femdubbla, 5×BM, eller åttadubbla, 8×BM, dosen. För fosforsyra, bentonit och kalciumklorid har vi utgått från litteraturvärden.

Fyra försöksserier har genomförts. Den första serien utfördes enbart i laboratorieskala med spårämnen, bentonit och syra samt obehandlad kontroll, tre parallella kolonner per behandling. I nästa serie upprepades försöket i pilot- och laboratorieskala. Nötgödsel fylldes på i pilotkärnen och testsubstanserna blandades ner med hjälp av en propelleromrörare. Efter omblandningen överfördes 30 l från vardera pilotkärlet till en laboratoriekolonn. På detta sätt erhöles ett replikat för kontroll av skaleffekter. Pilotkärlet innehöll 2,5 m<sup>3</sup> gödsel och 0,5 m<sup>3</sup> gasutrymme (förhållande 5:1). Kolonnen hade 2 l gasutrymme (förhållande 15:1). I tredje försöksomgången (kalciumklorid) gjordes på motsvarande sätt men med fem paralleller. Pilotkärnen fylldes med 2,9 m<sup>3</sup> gödsel och kolonnerna med 31 l. Därigenom blev förhållandet gödsel:gas nästan lika, 29:1 och 31:1. Fjärde försöket var ett småskaligare laboratorieförsök på 5 l, som genomförts i 5,5 liters glasflaskor. Dessa småsatser blandades och fylldes vid ett senare tillfälle.

Tabell 12. Typ av tillsatsmedel och doser i de olika lagringsförsöken.

Försök	Tillsatsmedel	Dosering
Laboratorieskala I (30 l) Kontroll Spårämnen Bentonit Fosforsyra	– Lösta spårämnen för anaeroba organismer Bentonit, finmald Fosforsyra (85%, analysren)	– 5 × BM (se bilaga 2) 0,5 %, 15 g/kolonn Till pH = 5,4, 325 ml/kolonn
Pilotskala I, 2500 l Kontroll Spårämnen Bentonit Fosforsyra Laboratorieskala II (30 l) Kontroll Spårämnen Bentonit Fosforsyra	– Lösta spårämnen för anaeroba organismer Bentonit, finmald Fosforsyra (75%, teknisk)  Kolonnerna fylldes med färdig blandning från pilotbehållarna.	– 8 × BM (se bilaga 2) 0,5 %, 12,5 kg/behållare Till pH = 5,3, 32 l/behållare  Som för pilotbehållarna
Pilotskala II, 2900 l Kontroll Kalciumklorid Laboratorieskala III (30 l) Kontroll Kalciumklorid	– 77% kalciumklorid, fast salt  Kolonnerna fylldes med färdig blandning från pilotbehållarna	  36 mg kalcium/g TS, 25,7 kg/behållare
Laboratorieskala IV (5 l) Kontroll Kalciumklorid	– 77% kalciumklorid, fast salt	– 36 mg kalcium/g TS

Vid inblandning av syra och kalciumklorid skummade gödseln mycket kraftigt och tillförseln skedde gradvis under flera dagar. Problemen kvarstod också under lagringen för kalciumkloriden och vätska tappades av allteftersom gödsel trycktes ut i gassäckarna. Den avtappade vätskan sparades och blandades i före provtagningen när lagringen var avslutad.

Efter att alla kärl fått gastäta lock placerades pilotkärnen i frostfritt utrymme. Pilotskala I lagrades från den 11 februari till den 17 juli år 2000 och Pilotskala II från 16 november 2000 till 2 mars 2001. Temperaturen var vintertid några plusgrader och sommartid över 20°C. Alla laboratoriekärl placerades i rum med konstant temperatur av 15°C.

Efter lagringsperiodens slut blandades innehållet i varje kärl noga och slutprov togs ut för kemisk analys och fluiditetsmätning.

## **Statistiska analyser**

Analys av statistiska skillnader i gödselns egenskaper mellan behandlingar i respektive försök och mellan skalorna (laboratorie- och pilotskala) har utförts. Vid jämförelse mellan skalor har modellen split-plot används där behandling är i storruta och skala i smårutor. En en-vägsanalys har gjorts för behandlingar i enskilda försök. Dessutom har skillnader i ammoniumkväveinnehållet i gasen ovanför gödselytan analyserats med en linjär modell med fyra (LabII och Pilot I) respektive två (Lab III och Pilot II) försöksled där de olika tidpunkterna behandlats som upprepade mätningar och en autoregressiv kovariansstruktur av ordningen 1 (AR(1)) i analysen. Analyserna är utförda i programvaran SAS (SAS Institute Inc, 1994).

## **Resultat**

### **Biologiska och kemiska förlopp**

Den fullständiga redovisningen av de kemiska analyserna vid olika provtagningstillfällen ges i form av stapeldiagram i bilaga 1. Proven i gödseln har tagits i vätskefasen förutom vid sista provtagningstillfället då gödseln blandats om väl innan provtagningen och ett representativt prov för hela gödselmängden uttagits. I beskrivningen nedan ges några exempel på resultat i grafisk form. I övrigt hänvisas till bilagan.

För samtliga försök har vi kunnat konstatera att vissa parametrar sammanfaller väl mellan de olika parallellerna vid de olika provtagningstillfällena. Detta gäller främst pH, ammoniumhalt och COD-halt. Som exempel visas i bild 2 pH-värden från två olika laboratorieförsök, (laboratorieförsök I med bentonit och laboratorieförsök II med syra).

Parametrar som är mer beroende av biologisk aktivitet som gasavgång och gasammansättning och fettsyraproduktion visar på större avvikelser mellan parallellerna. I bild 3 visas gasproduktionen för individuella paralleller för kontrollen i laboratorie- respektive pilotskala. De tre parallellerna i respektive skala är inte samstämmiga. Dessutom kan noteras att resultaten från motsvarande kärl i laboratorie- och pilotskala inte alltid har lika gasförlopp, se bild 3.

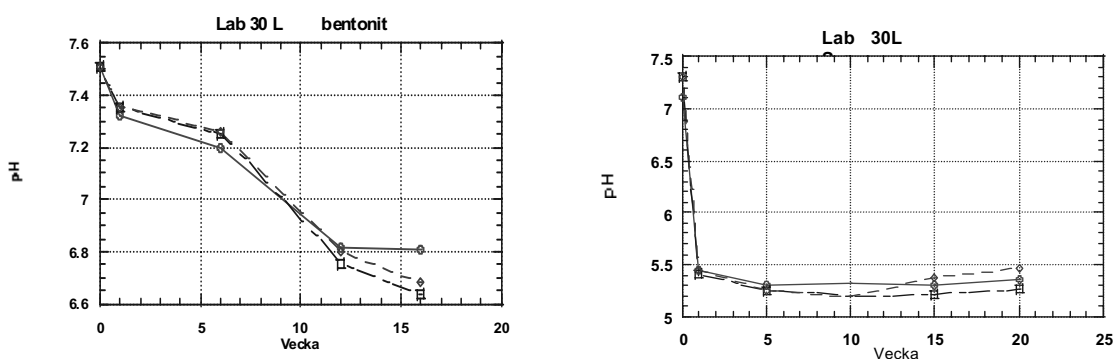


Bild 2. pH-värden för de tre parallella kolonnerna i laborieförsök I (bentonittillsats) och laborieförsök II (fosforsyrattillsats).

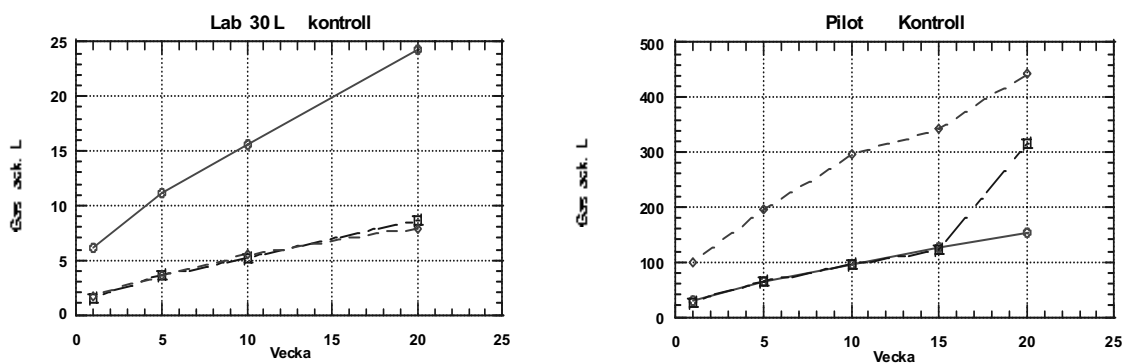


Bild 3. Gasproduktion i kontroll från motsvarande kärl i laborie- respektive pilotskala.

Den stora spridningen i gasproduktion som visas i bild 3 inom behandlingen både i laborie- och pilotskala kan betraktas som normal och uppträder i alla försök (se bilaga 1). Den sannolika förklaringen är att de mikrobiologiska aggregaten fördelats ojämnt vid fyllningen av kärnen och att således enbart omblandning inte ger tillräcklig homogenisering. Vi har dock eftersträvat att inte finfördela gödselaggregaten mer än vad som är brukligt i praktiken för att efterlikna förhållandena på gårdsnivå. Som en följd av skillnader i biologisk aktivitet mellan parallellerna var det också stor spridning i koldioxid- och metanhalt inom behandlingarna (bilaga 1). I sista försöksomgången använde vi fem paralleller för att få säkrare resultat men också här var spridningen stor mellan parallellerna.

I de första pilotförsöket var gasvolymen i behållarna över gödseln stor, 500 liter eller 1/5 av gödselvolymen, medan i kolonnerna förhållandet var 1/15. Eftersom gasflödet är litet vid den låga temperaturen tar det lång tid för gasen att bytas ut och bli representativ för omsättningen i gödseln. Detta gör att sammansättningen blir mer rättvisande för processen i laboratorieskala än i pilotskala.

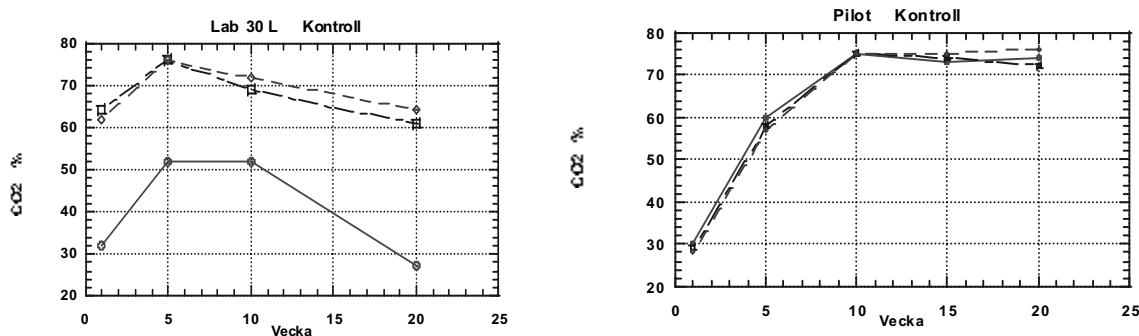


Bild 4. Uppmätt koldioxidhalt i gasfasen för laboratorie- och pilotförsök.

Den avvikande, nedre kurvan i laboratorieskala i bild 4 visar koldioxidhalten i samma kärl som "avvikaren" i bild 3 med högt gasflöde. I sista försöksomgången i pilotskala II och labskala III var gasvolymen cirka 1/30 av gödselvolymen. I bilaga 1 visas koldioxidhalterna (bild 17) och metanhalterna (bild 18) för dessa lagringar. Här är halterna vad som kan förväntas för en gödselgas från svagt sur gödsel, nämligen koldioxid 50-60% och metan 30-40%. Det är alltså viktigt med litet gasutrymme för gasanalysen vid studie av jämviktskoncentrationer. Ett annat förväntat resultat är att ingen metan bildats efter tillsats av fosforsyra (pH cirka 5,4).

Dessa problem med för stort gasutrymme påverkade också ammoniakmätningarna. För en stor gasvolym tar det lång tid att uppnå jämvikt med vätskefasen, speciellt om vätskan täcks av ett svämtäcke. I vissa fall var det stor variation mellan parallellerna i ammoniakhalt. Koncentrationerna kan bli missvisande när gasproduktionen är låg eller obefintlig eftersom provmängden är relativt stor i förhållande till gasvolymen ovan gödselytan. Uttagen gas måste ersättas och det kan innebära en utspädning vilket påverkar följande provtagningar. I flertalet fall har dock gas producerats under hela lagringstiden.

Flyktiga fettsyror (VFA) har bildats i gödseln i samtliga försök. Mest bildades ättiksyra men också en del propionsyra. Ättiksyran är mat för metanbildarna och bryts ner till koldioxid och metan. Om metanbildarna är aktiva kan fettsyrämängden minska. Annars sker en fortgående anrikning så som skett i de flesta försöken. Eftersom halterna är av samma storleksordning i alla försök kan vi inte urskilja vare sig hämning eller stimulering av bakterernas aktivitet utom i ett par av syraförsöken, där fettsyranivåerna varit lägre.

Utöver fettsyror bildas också andra lösliga organiska ämnen. Alla organiska lösta ämnen har analyserats som  $COD_{\text{löst}}$  (kemisk syreförbrukning) dvs. i  $COD_{\text{löst}}$  ingår VFA.  $COD_{\text{löst}}$ -värdena har i regel inte lika stor spridning som VFA-värdena, men ger inte lika detaljerad information. COD-halterna ökar i alla försöken, som mest till en fördubbling, vilket stödjer slutsatsen att det finns en fortgående mikrobiell nedbrytning. I samma riktning pekar de något ökande halterna av ammoniumkväve i gödseln, som också visar liten spridning i analyserna.

Förloppen är likartade i alla försöken, men bildad mängd av ämnen och hastigheten hos den bakteriella omsättningen skiljer sig mellan de olika gödselsatserna. Det är därför rimligt att anta att man alltid kommer att få olika resultat med tester av gödsel med olika ursprung beroende på skillnader i mikrobiell sammansättning.

## **Gödselns sammansättning**

I tabell 13 redovisas gödselns sammansättning före och efter lagring med eller utan tillsatsmedel samt den ackumulerade gasproduktionen under lagringen. Trots väl omblandad gödsel och strävan efter att få så lika gödsel som möjligt i behållarna i varje försök så var det endast i få fall en statistiskt säker skillnad mellan behandlingar på grund av att variationen inom behandlingarna var stor. Det gällde främst för den ackumulerade gasproduktionen. Behandlingen med calciumklorid verkar inte påverkat gödselns sammansättning i någon högre grad.

Det gick att visa signifikanta skillnader mellan syratillsats och övriga led med avseende på VFA, TS och VS. Om skillnaden i TS beror på fosforsyran i sig eller fosforsyrans effekt är svårt att säga eftersom TS inte mättes direkt efter tillsättningen av syran.

Tabell 13. Gödselns torrsbstanshalt (TS), glödförlust, pH, totalkväve (TKN), ammoniumkväve (NH<sub>4</sub>-N), COD<sub>löst</sub> och lösliga fettsyror (VFA) i gödseln vid försöksstart och efter lagring med olika tillsatsmedel samt total produktion av gas. <sup>a, b, c</sup>; olika bokstäver inom försök efter lagring visar statistiskt signifikanta skillnader ( $p < 0,05$ ).

Gödseltyp	TS, %	Glödförlust, %	pH	TKN, g/l	NH <sub>4</sub> -N, g/l	COD <sub>löst</sub> , g/l	VFA, g/l	Acc. gasproduktion, L
Nötgödsel 1 (Lab I)	9,0	7,7	7,5	4,5	2,0	13	1,5	-
Efter lagring:								
Kontroll	8,1 <sup>*</sup>	6,7 <sup>*</sup>	6,7 <sup>b</sup>	3,8 <sup>*</sup>	2,2 <sup>b</sup>	21,7 <sup>a</sup>	11,9 <sup>c</sup>	16,5 <sup>a</sup>
Spår	8,0 <sup>*</sup>	6,6 <sup>*</sup>	6,9 <sup>c</sup>	3,8 <sup>*</sup>	2,1 <sup>b</sup>	22,4 <sup>a</sup>	9,1 <sup>b</sup>	14,7 <sup>a</sup>
Bentonit	8,4 <sup>*</sup>	6,4 <sup>*</sup>	6,7 <sup>b</sup>	3,7 <sup>*</sup>	2,2 <sup>b</sup>	27,4 <sup>a</sup>	11,3 <sup>bc</sup>	7,9 <sup>a</sup>
Syra	8,9 <sup>*</sup>	6,7 <sup>*</sup>	5,4 <sup>a</sup>	3,7 <sup>*</sup>	2,0 <sup>a</sup>	20,2 <sup>a</sup>	6,2 <sup>a</sup>	6,4 <sup>a</sup>
Nötgödsel 2 (Lab II och pilot I)	8,2	7,0	7,3	4,2	2,0	11	2,7	-
Efter lagring Lab II:								
Kontroll	7,3 <sup>a</sup>	6,3 <sup>b</sup>	6,7 <sup>b</sup>	3,8 <sup>b</sup>	2,2 <sup>c</sup>	23 <sup>c</sup>	9,0 <sup>b</sup>	13,6 <sup>a</sup>
Spår	7,1 <sup>a</sup>	5,8 <sup>a</sup>	6,7 <sup>b</sup>	3,5 <sup>a</sup>	2,1 <sup>b</sup>	18 <sup>ab</sup>	8,7 <sup>b</sup>	7,5 <sup>a</sup>
Bentonit	7,3 <sup>a</sup>	5,7 <sup>a</sup>	6,7 <sup>b</sup>	3,5 <sup>a</sup>	2,15 <sup>bc</sup>	16 <sup>a</sup>	9,8 <sup>b</sup>	12,7 <sup>a</sup>
Syra	8,5 <sup>b</sup>	6,5 <sup>c</sup>	5,4 <sup>a</sup>	3,5 <sup>a</sup>	2,0 <sup>a</sup>	21 <sup>bc</sup>	6,3 <sup>a</sup>	14,2 <sup>a</sup>
Efter lagring pilot I:								
Kontroll	7,0 <sup>a</sup>	5,9 <sup>b</sup>	6,8 <sup>b</sup>	3,5 <sup>a</sup>	2,2 <sup>a</sup>	24 <sup>b</sup>	9,8 <sup>b</sup>	Osäkra data
Spår	7,1 <sup>a</sup>	5,9 <sup>b</sup>	6,8 <sup>b</sup>	3,6 <sup>b</sup>	2,2 <sup>a</sup>	24 <sup>b</sup>	9,4 <sup>b</sup>	Osäkra data
Bentonit	7,1 <sup>a</sup>	5,6 <sup>a</sup>	6,7 <sup>b</sup>	3,6 <sup>b</sup>	2,2 <sup>a</sup>	25 <sup>b</sup>	9,6 <sup>b</sup>	Osäkra data
Syra	8,4 <sup>b</sup>	6,3 <sup>c</sup>	5,5 <sup>a</sup>	3,7 <sup>c</sup>	2,2 <sup>a</sup>	17 <sup>a</sup>	4,8 <sup>a</sup>	Osäkra data
Nötgödsel 3 (Lab III och pilot II)	6,9	5,6	7,0	3,1	1,4	-	2,7	-
Efter lagring Lab III:								
Kontroll	7,4 <sup>a</sup>	5,9 <sup>a</sup>	6,8 <sup>b</sup>	2,8 <sup>a</sup>	1,6 <sup>a</sup>	-	3,7 <sup>a</sup>	14,9 <sup>a</sup>
Kalciumklorid	7,0 <sup>a</sup>	5,6 <sup>a</sup>	6,6 <sup>a</sup>	2,7 <sup>a</sup>	1,7 <sup>b</sup>	-	4,1 <sup>a</sup>	7,5 <sup>a</sup>
Efter lagring Pilot II:								
Kontroll	6,7 <sup>a</sup>	5,5 <sup>a</sup>	6,8 <sup>a</sup>	2,9 <sup>a</sup>	1,5 <sup>a</sup>	-	3,4 <sup>a</sup>	Osäkra data
Kalciumklorid	6,6 <sup>a</sup>	5,4 <sup>a</sup>	6,7 <sup>a</sup>	2,8 <sup>a</sup>	1,7 <sup>b</sup>	-	2,7 <sup>a</sup>	Osäkra data
Nötgödsel 4 (Lab IV, 5 I)	6,3	5,2	6,8	3,0	1,1	-	3,1	-
Efter lagring								
Kontroll	5,9 <sup>**</sup>	4,2 <sup>**</sup>	6,8 <sup>b</sup>	2,8 <sup>**</sup>	1,9 <sup>a</sup>	-	1,9 <sup>a</sup>	4,82 <sup>a</sup>
Kalciumklorid	6,4 <sup>**</sup>	5,2 <sup>**</sup>	6,5 <sup>a</sup>	2,5 <sup>**</sup>	1,9 <sup>a</sup>	-	1,2 <sup>a</sup>	3,77 <sup>a</sup>

\*Prov taget i vätskefas, ej i omrörd gödsel (ingen statistisk analys utförd)

\*\*Medelvärden, analyser utförda på samlingsprov från parallellerna

### Jämförelse av skala – 30 liter eller 3m<sup>3</sup>

Vid en studie av gödselns egenskaper efter lagring i labskala jämfört med pilot-skala visar det sig att det finns statistiskt säkra skillnader mellan gödselns egenskaper efter lagring i laboratorieskala och pilotskala, tabell 14 och 15. Det betyder att i vissa fall har gödseln efter lagringen skilda egenskaper i de två skalorna vid

samma behandling. Det var t.ex. en signifikant skillnad mellan innehållet av totalkväve efter lagring mellan samtliga behandlingar i labbskala och pilotskala, tabell 14. Det var också ofta en skillnad i många egenskaper mellan gödseln som lagrats i labbskala och pilotskala utan tillsatsmedel (kontroll). Mellan Labbskala III och Pilotskala II (tabell 15) förekom endast ett fåtal skillnader som uppträdde både mellan kontroller och i led behandlade med kalciumklorid.

Tabell 14. Statistiska skillnader i egenskaper mellan gödsel efter lagring i laboratorie- (Lab II) och pilotskala (Pilot I) vid fyra olika behandlingar.

Behandling	Egenskap hos gödsel, efter lagring							
	TS	Glödförlust	pH	TKN	NH <sub>4</sub> -N	VFA	Fluiditet	COD
Kontroll	*	***	*	***	ns	ns	*	ns
Spår	ns	ns	ns	***	ns	ns	***	**
Bentonit	ns	ns	ns	***	ns	ns	ns	***
Fosforsyra	ns	*	*	***	***	**	***	*

Tabell 15. Statistiska skillnader i egenskaper mellan gödsel efter lagring i laboratorie- (Lab III) och pilotskala (Pilot II) vid två olika behandlingar.

Behandling	Egenskap hos gödsel, efter lagring						
	TS	Glödförlust	pH	TKN	NH <sub>4</sub> -N	VFA	Fluiditet
Kontroll	*	*	ns	ns	ns	ns	ns
Kalciumklorid	ns	ns	ns	ns	ns	*	***

### Koncentrationen av ammoniak/ammoniumkväve över gödselns yta vid fyra tidpunkter under lagring

Jämviktskoncentrationen för NH<sub>3</sub> ovanför gödselytan visar potentialen hos gödseln för att avge ammoniak. Prover togs under fyra tillfällen under lagring med ca 5 veckors mellanrum. I tabell 16 visas värdena för de fyra laboratorieförsöken och statistiska skillnader mellan behandlingarna inom varje försök och tidpunkt. Gasmätningarna i pilotskalan är mindre säkra eftersom stopp i anslutningen till gassäcken störde systemet så att locken måste öppnas och därmed var systemet tillfälligt öppet för luftväxling. Därför har koncentrationmätningarna från pilotskalan inte analyserats närmare.

Resultaten i tabell 16 visar att koncentrationerna i flera fall var signifikant lägre vid tillsats av fosforsyra jämfört med övriga led. Även vid tillsats av Bentonit var koncentrationen låg i Labförsök I, men i Labförsök II gav det endast i något provtillfälle lägre koncentration än kontrollen. Även tillsats av spårämne gav vid något tillfälle lägst koncentration.

Det gick inte att visa någon statistisk säker skillnad i koncentrationer mellan kontroll och tillsats av kalciumklorid vid de olika provtagningstillfällena förutom i ett enstaka fall.

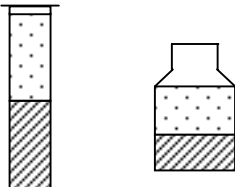
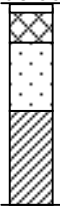
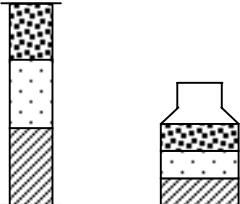

Tabell 16. Halten ammoniak (ppm) i luften ovan gödselytan i behållarna i lab skala vid fyra provtagningstillfällen under lagringen. <sup>a, b, c</sup>; olika bokstäver inom försök och provtagningstillfälle visar statistiskt signifikanta skillnader ( $p < 0,05$ ).

Försök	Behandling	Provtagningstillfälle			
		1	2	3	4
Lab I	Kontroll	2,5 <sup>bc</sup>	6,5 <sup>b</sup>	8,2 <sup>b</sup>	7,3 <sup>c</sup>
	Spår	3,9 <sup>c</sup>	5,1 <sup>b</sup>	8,4 <sup>b</sup>	7,7 <sup>c</sup>
	Bentonit	0,9 <sup>a</sup>	2,7 <sup>a</sup>	8,3 <sup>b</sup>	4,7 <sup>b</sup>
	Fosforsyra	2,1 <sup>ab</sup>	2,3 <sup>a</sup>	2,7 <sup>a</sup>	2,7 <sup>a</sup>
Lab II	Kontroll	15 <sup>c</sup>	2 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	6,7 <sup>b</sup>
	Spår	9 <sup>b</sup>	2,7 <sup>a</sup>	1 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>
	Bentonit	9,7 <sup>b</sup>	2,7 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	5 <sup>ab</sup>
	Fosforsyra	1,7 <sup>a</sup>	1,4 <sup>a</sup>	1,2 <sup>a</sup>	2,7 <sup>ab</sup>
Lab III	Kontroll	4,1 <sup>a</sup>	3,8 <sup>a</sup>	1,7 <sup>a</sup>	1,5 <sup>a</sup>
	Kalciumklorid	3,8 <sup>a</sup>	4,4 <sup>a</sup>	2,1 <sup>a</sup>	1,2 <sup>a</sup>
Lab IV	Kontroll	4,2 <sup>a</sup>	4,1 <sup>a</sup>	8,9 <sup>b</sup>	10,3 <sup>b</sup>
	Kalciumklorid	3,0 <sup>a</sup>	4,6 <sup>a</sup>	3,3 <sup>a</sup>	2,9 <sup>a</sup>

### Skiktning och fluiditet

Gödselns skiktning kunde lätt iaktas i laboratoriekärnen medan ingenting kunde ses genom pilotkärnens siktglas. De olika skiktningens beteendena beskrivs med ord och bild i tabell 17. Svämtäcke saknades helt i kontrollkärnen och i försöket med spårämnen. Både svämtäcken och bottensats bildades fort och efter ungefär 2 veckor skedde ingen större förändring. I pilotkärnen bildades också svämtäcke och bottensats men omfattningen kunde inte mätas.

Tabell 17. Skiktningens utseende och höjd i de olika laborieförsöken.

Skiktningstyp	Skiktthöjlek	Lagringsförsök
<p>1. Två skikt. Bottensats och klarfas överfas.</p> 	<p>Ungefär halva gödselhöjden bottensats och halva höjden klarfas</p>	<p>Laborieförsök II: Kontroll (3 kärl) Spårämnestillsats (3 kärl)</p> <p>Laborieförsök III: Kontroll (5 kärl varav ett flerskiktat som typ 4)</p> <p>Laborieförsök IV (5 l): Kontroll (5 flaskor)</p>
<p>2. Tre skikt. Bottensats, i mitten klarfas och överst svämtäcke.</p> 	<p>Bottensats ungefär halva höjden, klarfas ungefär 30 % av höjden och svämtäcke med stor mängd gasbubblor ungefär 20 %.</p>	<p>Laborieförsök II. Syratillsats (3 kärl)</p>
<p>3. Tre skikt: Bottensats, klarfas och skummande svämtäcke.</p> 	<p>Bottensats ungefär 30-40 % av höjden, klarfas 30-45 % av höjden och svämtäcket upp till locket 25-35 % av höjden, (skummar tidvis över i gasledningen)</p>	<p>Laborieförsök III: Kalciumklorid tillsats (5 kärl)</p> <p>Laborieförsök IV (5 l): Kalciumklorid tillsats (5 flaskor)</p>
<p>4. Flerskiktad: Bottensats delad av en klarfas, i mitten klarfas och överst svämtäcke.</p> 	<p>Bottensats drygt halva höjden, i övre delen finns ett smalt bälte klarfas, i mitten klarfas ungefär 30 % av höjden och överst ett svämtäcke med gasbubblor cirka 10 % av höjden.</p>	<p>Laborieförsök II: Bentonit tillsats (3 kärl)</p>

I tabell 18 visas de uppmätta fluiditetsvärdena före och efter lagring. I samtliga fall var gödseln något mer lättflytande efter lagring jämfört med före lagring. Det finns signifikanta skillnader i fluiditet mellan behandlingarna, men det gäller även före lagringsperioden med tillsatser inblandade i gödseln. Differenserna i fluiditet mellan behandlingarna var dock små.

Tabell 18. Fluiditetsvärden för nötgödseln uppmätta före och efter lagring. Nötgödsel 2 och 3 har mätts på gödsel tagen från pilotskalebehållarna innan dessa tömts på gödsel till laboratoriebehållarna.

Gödseltyp	Fluiditet, s	
	Före lagring	Efter lagring
Nötgödsel 1		
Laboratorieförsök I		
Kontroll	Ej mätt	7,21 <sup>a</sup>
Spår	Ej mätt	7,18 <sup>a</sup>
Bentonit	Ej mätt	7,17 <sup>a</sup>
Syra	Ej mätt	7,47 <sup>b</sup>
Nötgödsel 2		
Laboratorieförsök II		
Kontroll	7,23 <sup>b</sup>	6,90 <sup>a</sup>
Spår	7,07 <sup>a</sup>	6,95 <sup>ab</sup>
Bentonit	7,16 <sup>ab</sup>	6,93 <sup>ab</sup>
Syra	7,18 <sup>b</sup>	6,98 <sup>b</sup>
Pilotförsök I		
Kontroll	7,23 <sup>b</sup>	6,96 <sup>b</sup>
Spår	7,07 <sup>a</sup>	6,84 <sup>a</sup>
Bentonit	7,16 <sup>ab</sup>	6,93 <sup>b</sup>
Syra	7,18 <sup>b</sup>	6,85 <sup>a</sup>
Nötgödsel 3		
Laboratorieförsök III		
Kontroll	7,02 <sup>a</sup>	6,99 <sup>a</sup>
Kalciumklorid	7,28 <sup>b</sup>	7,10 <sup>a</sup>
Pilotförsök II		
Kontroll	7,02 <sup>a</sup>	6,98 <sup>a</sup>
Kalciumklorid	7,28 <sup>b</sup>	6,90 <sup>a</sup>
Nötflytgödsel 4	Ej mätt	Ej mätt

## Sammanfattande diskussion

Pilotskalan var betydligt mer problematisk jämfört med labskalan (30 L) och därmed mer arbetskrävande. Igensättning av förbindelsen mellan gassäck och behållare innebar att trycket i pilotbehållarna ökade stort och behållarna började efter ett tag att likna jästa surströmmingsburkar. Vid rensning av gaslanganslutningen sprutade gödsel ut ur behållaren. I vissa fall måste behållarna öppnas och de blev därmed ventilerade. Det gick inte heller att studera skiktningen i pilotbehållarna som i de genomskinliga labburkarna. På grund av dessa svårigheter är producerad mängd gas och koncentrationerna (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, NH<sub>3</sub>) i pilotskalan osäkra och några statistiska analyser har inte utförts på dessa data.

Det fanns vissa statistiskt säkra skillnader i gödselns egenskaper när den lagrats i lab- respektive pilotskala. Det gällde även när inga tillsatser använts (kontroll). Det kan här inte nog betonas vikten av att vara noggrann vid provdelning av ett större parti gödsel till mindre behållare samt att få representativa prover vid uttagning av mindre mängder gödsel ur ett större parti t.ex. uttagning av mängd till labskala från pilotskalebehållarna. Kanske kan en del skillnader förklaras med

att provdelning och uttagning av gödselprover inte varit perfekta trots ansträngningar. Vid alltför kraftig omblandning, silning eller på andra sätt homogenisering av gödseln finns risken att gödselns egenskaper bli alltför avvikande från den gödsel som förekommer ute på gårdar. Då blir resultaten inte applicerbara i gårds-skalan.

En annan förklaring till skillnader i gödselns egenskaper efter lagring i de olika skalorna är att gödseln lagrats vid olika temperaturer dvs. det var skillnader i lagringsbetingelserna. Det fanns inte ekonomiska eller praktiska möjligheter att lagra pilotskalebehållarna under kontrollerade temperaturförhållanden t.ex. i en klimatkammare.

Vid framtagning av en metod för provning av tillsatsmedel blir det en kompromiss mellan att kunna få en verklighetsnära metod och att kunna kontrollera förhållandena under provningen. För den framtagna metoden sker lagringen i slutna och oventilerade behållare för att slippa ta hänsyn till svårbedömda yttre faktorer som utspädning. I verkligheten är dock behållarna oftast naturligt ventilerade utan täckning. Men med slutna och oventilerade behållare går det att studera betingelserna för biologisk och kemisk aktivitet och benägenheten hos gödseln att avge ammoniak. Det kan dock vara svårt att storleksbestämma i absoluta tal t.ex. en minskad ammoniakavgång till följd av användning av tillsatsmedel.

Från litteraturen är det välkänt att en sänkning av pH hos gödseln minskar mängden löst ammoniak i vätskan och istället ökar mängden löst ammoniumkväve (Sommer m.fl., 2003). Därmed minskar risken för att löst ammoniak ska avgå i gasform. Av de behandlingar som haft störst effekt är det tillsats av fosforsyra (sänkt pH till 5,4). Både i lab- och pilotskala märktes effekten av tillsatsen med fosforsyra genom att aktiviteten var låg (sänkt VFA) liksom halterna av ammoniak över gödselytan. Här kan vi säga att testmetoden visade förväntade resultat. Däremot har provtagningen av gödseln med fosforsyra inte alltid visat högsta halterna av totalkväve. I något fall har gödseln med syra haft signifikant lägst innehåll av totalkväve trots att gödseln visat på minskad benägenhet att avge ammoniak. Varför det blir så kan vi bara spekulera i men provtagnings- och analysmetodik av gödseln kan påverka. Vid analysen av TKN späds gödselprov mycket.

Utspädningen av gödseln vid tillsats av fosforsyra var marginell och kan inte märkbart påverka gödselkoncentrationerna.

Sammanfattningsvis kan sägas att den lilla labskalan var mer lätt att arbeta med och att kontrollera än pilotskalan. Testmetoden speglar de biologiska-kemiska förändringarna som sker i gödseln under lagring. Skalan kan dock påverka de absoluta värdena.

## Slutsatser

Det finns en likhet mellan pilot- och laboratorieskala i att båda skalorna speglar de förändringar som sker till följd av biologisk-kemisk aktivitet. Detta innebär att man fortsättningsvis kan arbeta i den lilla skalan, som är betydligt mindre arbetskrävande.

Enbart omblandning ger inte så homogen gödsel att alla paralleller ger väl samlade analysdata. Bättre provdelning och homogenisering bör övervägas. Även uttagning av prov för analys måste ske med mycket stor noggrannhet för att få representativa prover för analys.

För att få tillförlitliga gasdata rörande jämviktskoncentrationer är det viktigt med ett litet gasutrymme ovanför gödseln. pH, gasanalyser och fettsyror har givit användbar information om mikrobiell aktivitet i gödseln. COD-analyserna stödjer resultaten, men tillför inte mera och skulle därmed kunna utgå. Ammonium-analyserna är motiverade om det finns intresse av att se i vilken form kvävet är i efter lagring.

Skiktningsegenskaperna var särskiljande och mycket tydliga för de olika tillsatserna i labbskalebehållarna. Det går dock inte att säga om den begränsade diametern (0,19 m) har stört skiktningen.

För den framtagna metoden sker lagringen i slutna och oventilerade behållare för att slippa ta hänsyn till svårbedömda yttre faktorer som utspädning. Den ger möjlighet att studera relativa skillnader mellan behandlingarna och effekten av testade tillsatsmedel. Absoluta effekter i verkligheten går dock inte att bestämma i en mindre testskala.

Fortsatta studier bör utvidgas med luktanalyser. Vi vet inte heller hur avvikande resultat som skulle erhållas med svinggödsel som har andra mikrobiologiska förutsättningar.

## Referenser

- Al-Kanani, T., Akochi, E., MacKenzie, F., Alli, I. & Barrington, S., 1992. Organic and inorganic amendments to reduce ammonia losses from liquid hog manure. *Journal of Environmental Quality* 21, 709-715.
- Amberger, A. & Gutser, R., 1989. Wirkung von Kalkzusatz zu Gülle. *Bayerisches landwirtschaftliches Jahrbuch per 1989*, 289-291.
- Ammler, G., Hartung, E. & Büscher, W., 1997. Flüssigmist-Additive im Test. Prüfstandards für Zusatzstoffe für Flüssigmist. *Landtechnik* 97 (52)1, 42-43.
- Andersson, M., 1994. Performance of additives in reducing ammonia emissions from cow slurry. Rapport 93 från Institutionen för jordbrukets biosystem och teknologi, Sveriges lantbruksuniversitet, Alnarp.
- Barnett, G. M., 1999. Evaluation of commercial additives for hog-manure odourcontrol. *Canadian Journal of Soil Science* 79(4), 639.
- Barnes, E. 1986. Anaerobic bacteria of the normal intestinal microflora of animals. Från: *Anaerobic bacteria in habitats other than man*. (Eds: Barnes & Mead). Blackwell Scientific Publications.
- Berg, W., Brunsch, R. & Pazsiczki, 2004. Greenhouse gas emissions from covered slurry compared with uncovered during storage. Proceedings från den internationella konferensen '*Greenhouse gas emissions from agriculture mitigation options and strategies*'. February 10-12, 2004, Leipzig, Germany.
- Bushee, E. L., Edwards, D.R., Gates, R.S. & Turner, L. W., 1999. Effects of chemical amendments on the gaseous emissions from swine manure. Presented at the ASAE Annual International Meeting, July 19-21, 1999, Paper No. 99-4003, ASAE, 2950 Niles Road, St. Joseph, MI 49085-9659 USA.

- Chapuis-Lardy, L., Temminghoff, E.J.M. & De Goede, R.G.M., 2003. Effects of different treatments of cattle slurry manure on water-extractable phosphorus. *NJAS Wageningen Journal of Life Sciences* 51(1/2), 91-102.
- de la Lande Cremer, L.C.N., 1984. Toevoegmiddelen aan mest en compost. *Lanbouwmecanisatie* 35, 812-817.
- Fabbri, C., Valli, L., Bonazzi, G. & Rossetti, M., 2000. Laboratory tests on additives to reduce N-ammonia emissions from pig slurry. Proceedings of the 9<sup>th</sup> international workshop of the European cooperative research network, 194-196.
- Heber, A.J., Duggirala, R. K., Ni, J., Spence, M.L., Haymore, B.L., Adamchuk, V.I., Bundy, D.S., Sutton, A.L., Kelly, D.T. & Keener, K.M., 1997. Manure treatment to reduce gas emissions from large swine houses. I proceedings of the International Symposium '*Ammonia and odour control from animal production facilities*' (Eds: Voermans, J.A.M. & Monteny, G.-J.), Vinkeloord, The Netherlands, October 6-10, 1997, 449-457.
- Heber, A.J. & Heyne, M.J., 1999. Outdoor hydrogen sulphide concentrations near a swine feeding facility. ASAE paper 98 4006. Written for presentation at the 1999 ASAE/CSAE-SCGR International meeting, July 18-21, 1999.
- Heber, A.J., Ni, J.Q., Lim, T.T., Diehl, C.A., Sutton, A.L., Duggirala, R.K., Haymore, B.L., Kelly, D.K. & Adamchuk, V.I., 2000. Effect of a manure additive on ammonia emission from swine finishing buildings. *Transactions of ASAE* 43(6), 1895-1902.
- Hendriks, J. G. L. & Vrieling, M.G.M, 1997. Reducing ammonia emission from pig houses by adding or producing organic acids in pig slurry. I proceedings of the International Symposium '*Ammonia and odour control from animal production facilities*' (Eds: Voermans, J.A.M. & Monteny, G.-J.), Vinkeloord, The Netherlands, October 6-10, 1997, 493-501.
- Hoy, St., Müller, K. & Willig, R., 1996. Zur Bestimmung von Konzentration und Emission Tier- und Umwelthygienisch relevanter Gase bei verschiedenen Schweine-Haltungssystemen mit Hilfe des Multigasmonitoring. [Investigations on concentration and emission of gases relevant from the view point of animal and environmental hygiene in different keeping systems for fattening pigs by multigasmonitoring]. *Berliner und Münchener tierärztliche Wochenschrift* 109, 46-50.
- Hörnig, G., Berg, W. & Türk, M., 1997. Harmful gas and odour emissions under use of feed and slurry additives. Proceedings of the fifth international symposium, Bloomington, Minnesota, May 29-31, 1997. (Eds: Bottcher, R.W. & Hoff, S.J.) *Livestock Environment V. Volume 1. International livestock environment symposium V*, Bloomington, Minnesota.
- Jürgens, G., 1987. The influence of ground superphosphate on the pH value and the ammonia release from slurry. In: *Animal manure on grassland and fodder crops*. (Eds: van der Meer, H.G. m.fl.). Martinus Nijhoff Publishers, Dordrecht. ISBN 90-247-3568-8. Nederländerna.
- Kemme, P.A., Jongbloed, A.W., Dellaert, B.M. & Krol-Kramer, F., 1993. The use of a yucca schidigera extract as 'urease inhibitor' in pig slurry. I proceedings of the first international symposium 8-11 June, 1993: *Nitrogen flow in pig production and environmental consequences*, Wageningen, Doorwerth, Nederländerna,.
- Korhonen, H. & Niemelä, P., 1999. Effect of yucca feed additive on manure nitrogen content and production performance in mink and blue foxes, *Scientifur (Danmark)* 23(3), 179-185.

- Malgeryd, J., Wetterberg, C. & Rodhe, L., 1993. Stallgödselns fysikaliska egenskaper. JTI-rapport 166. Institutet för jordbruks- och miljöteknik, Uppsala.
- Martinez, J. Jolivet, J., Guiziou, F. & Langeoire, G., 1997. Ammonia emissions from pig slurries: evaluation of acidification and the use of additives in reducing losses. I proceedings of the International Symposium 'Ammonia and odour control from animal production facilities' (Eds: Voermans, J.A.M. & Monteny, G.-J.), Vinkeloord, The Netherlands, October 6-10, 1997, 485-492.
- Martinez, J., Béline, F. Peu, P. & Guiziou, F., 1999. Émissions de méthane (CH<sub>4</sub>) et de protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O) au cours du stockage, du traitement et de lépandage de déjections animales. [Methane (CH<sub>4</sub>) and nitrous oxide (N<sub>2</sub>O) emissions during storage, treatment and spreading of livestock slurries]. Comptes rendus de l'academie d'agriculture de france, 85(6), 87-101.
- Pain, B.F., Misselbrook, T. H. & Rees, Y.J., 1994. Effects of nitrification inhibitor and acid addition to cattle slurry on nitrogen losses and herbage yields. Grass and forage science 49, 209-215.
- Patni, N.K., 1992. Effectiveness of manure additives. The Centre for Food and Animal Research Branch, Agriculture Canada Central Experimental Farm Ottawa, Ontario, K1A 0C6 Canada. A report prepared for the Ontario Pork Producers Marketing Board, 15 Waulron Street, Etobicoke, Ontario M9C 5 H3.
- Powers, W.J., Van Horn, H.H., Wilkie, A.C., Wilcox, C.J., & Nordstedt, R.A., 1999. Effects of anaerobic digestion and additives to effluent or cattle feed on odor and odorant concentrations. Journal of Animal Science 77(6), 1412-1421.
- Prochnow, L.I., Cunha, C.F., Kiehl, J.C. & Alcarde J.C., 2001. Control of ammonia volatilization during composting by adding agricultural gypsum and superphosphates with different levels of residual acidity. [Controle da volatilização de ammonia em compostagem, mediante adição de gesso agrícola e superfosfatos com diferentes níveis de acidez residual]. Revista Brasileira de Ciencia do Solo 25(1), 65-70.
- APHA, 1995. Standard Methods for the examination of water and wastewater. 19th edition. American Public Health Association, Port City Press, Baltimore, Maryland.
- SAS Institute Inc, 1994. SAS/STAT® *User's Guide*, Version 6, Fourth ed., Cary, NC, USA.
- SIS, 1976. Svensk standard SIS 028134. Bestämning av ammoniumnitrogen-koncentration hos vatten. Sveriges standardiseringskommission, Standard-kommittén för miljö och miljöpåverkan, Stockholm.
- Sommer, S.G., Générumont, S., Cellier, P., Hutchings, N.J., Olesen, J.E. & Morvan, T. 2003. Processes controlling ammonia emission from livestock slurry in the field. European Journal of Agronomy 19, 465-486.
- Steffens, G., Klasink, A. & Lorenz, F., 1990. Ammoniakfreisetzung aus Flüssigmistlagerbehältern und nach Gülleausbringung bei unterschiedlichen Güllezusätzen. Beitrag-Nr 36. Ammoniak in der Umwelt, Kreisläufe, Wirkungen, Minderung. Gemeinsames Symposium, 10. Bis 12 oktober 1990. Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL) Braunschweig-Völkenrode.
- Stinson, R., Lemay, S.P., Barber, E.M. & Fonstad, T., 1999. Effectiveness of three manure pit additives in commercial scale manure channels and simulated outdoor storage. Presented at the ASAE Annual International Meeting Sponsered by ASAE. July 18-21, 1999.

- Subair, S., Fyles, J.W. & O'Halloran, I.P., 1999. Ammonia volatilization from liquid hog manure amended with paper products in the laboratory. *Journal of Environmental Quality* 28(1), 202-207.
- Termeer, W.C. & Warman, P.R., 1993. Use of mineral amendments to reduce ammonia losses from dairy-cattle and chicken-manure slurries. *Bioresource Technology* 44, 217-222.
- Warburton, D., J., Scarborough, J., N., Day, D., L., Meuhling, A., H., Jensen, A., H. & Curtis, S., E., 1980. Evaluation of commercial products for odour control and solids reduction of liquid swine manure. Proc. 4<sup>th</sup> Internat. Symp. on Livestock Wastes, ASAE, St. Joseph, 309-313.
- Wikberg, A., 1996. Ammonia recovery from liquid manure by desorption with air. JTI-rapport Kretslopp & Avfall Nr 6, Jordbrukstekniska institutet, Uppsala.
- Varel, V. H., 1997. Use of urease inhibitors to control nitrogen loss from livestock wastes. *Bioresource Technology* 62, 11-17.
- Varel, V. H., 2002. Carvacrol and thymol reduce swine waste odor and pathogens: stability of oils. *Current Microbiology* 44(1), 38-43.
- Witter, E. & Kirchmann, H., 1989. Effects of addition of calcium and magnesium salts on ammonia volatilization during manure decomposition. *Plant and Soil* 115, 53-58.
- Zhu, J., Bundy, D.S., Li, X.W. & Rashid, N., 1996. Reduction of odor and volatile substances in pig slurries by using pit additives. *Journal of Environmental Science & Health* 31(10), 2487-2501.
- Zhu, J., 2000. The effectiveness of aerobes used as manure additives for swine manure control. *Swine health and production* 8(1), 5-9.



## Samlade analysdata från alla försök

I denna bilaga visas alla analyser som stapeldiagram. Laboratorieförsök I presenteras i bild 1-8. Laboratorieförsök II och pilotförsök I presenteras i bild 9-15. Laboratorieförsök III, pilotförsök II och laboratorieförsök IV (5 liter) presenteras i bild 16-22.

### Laboratorieförsök I:

	Bild
pH	1
koldioxid	2
metan	3
total gasvolym	4
ammoniak i gasfas	5
flyktiga fettsyror	6
COD	7
ammoniumhalt	8

### Laboratorieförsök II och pilotförsök I:

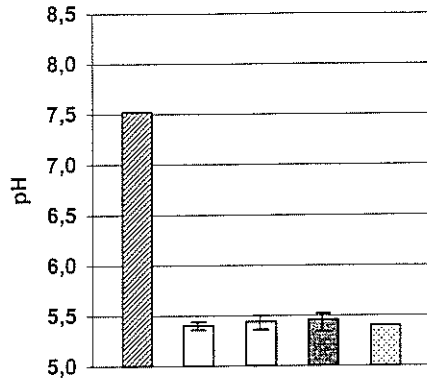
pH	9
koldioxid	10
metan	11
total gasvolym	11
ammoniak i gasfas	12
flyktiga fettsyror	13
COD	14
ammoniumhalt	15

### Laboratorieförsök III, pilotförsök II och laboratorieskala IV:

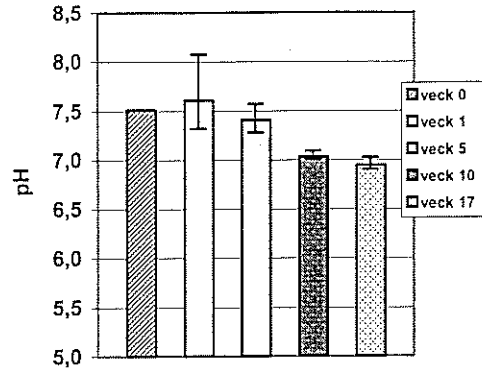
pH	16
koldioxid	17
metan	18
total gasvolym	19
ammoniak i gasfas	20
flyktiga fettsyror	21
ammoniumhalt	22



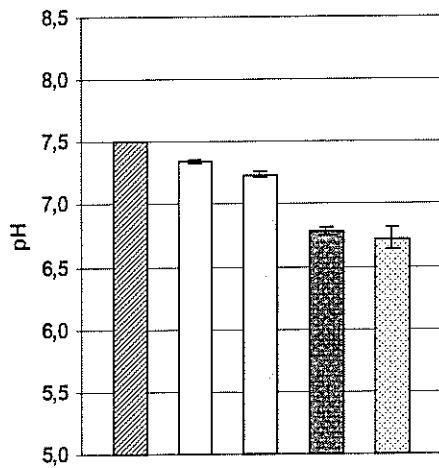
Lab. 30 L syra



Lab. 30 L spårelement



Lab. 30 L bentonit



Lab. 30 L kontroll

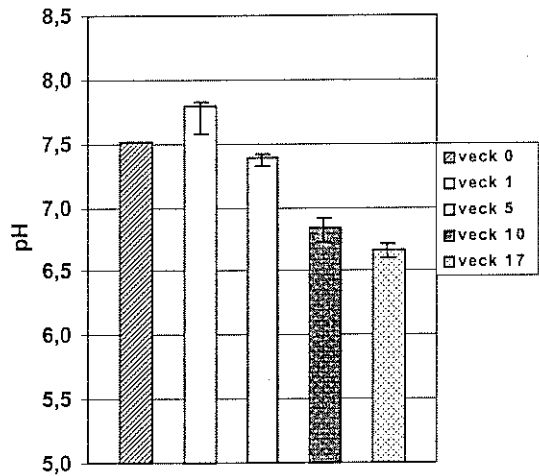


Bild.1. pH-dynamik i laboratorieförsök I

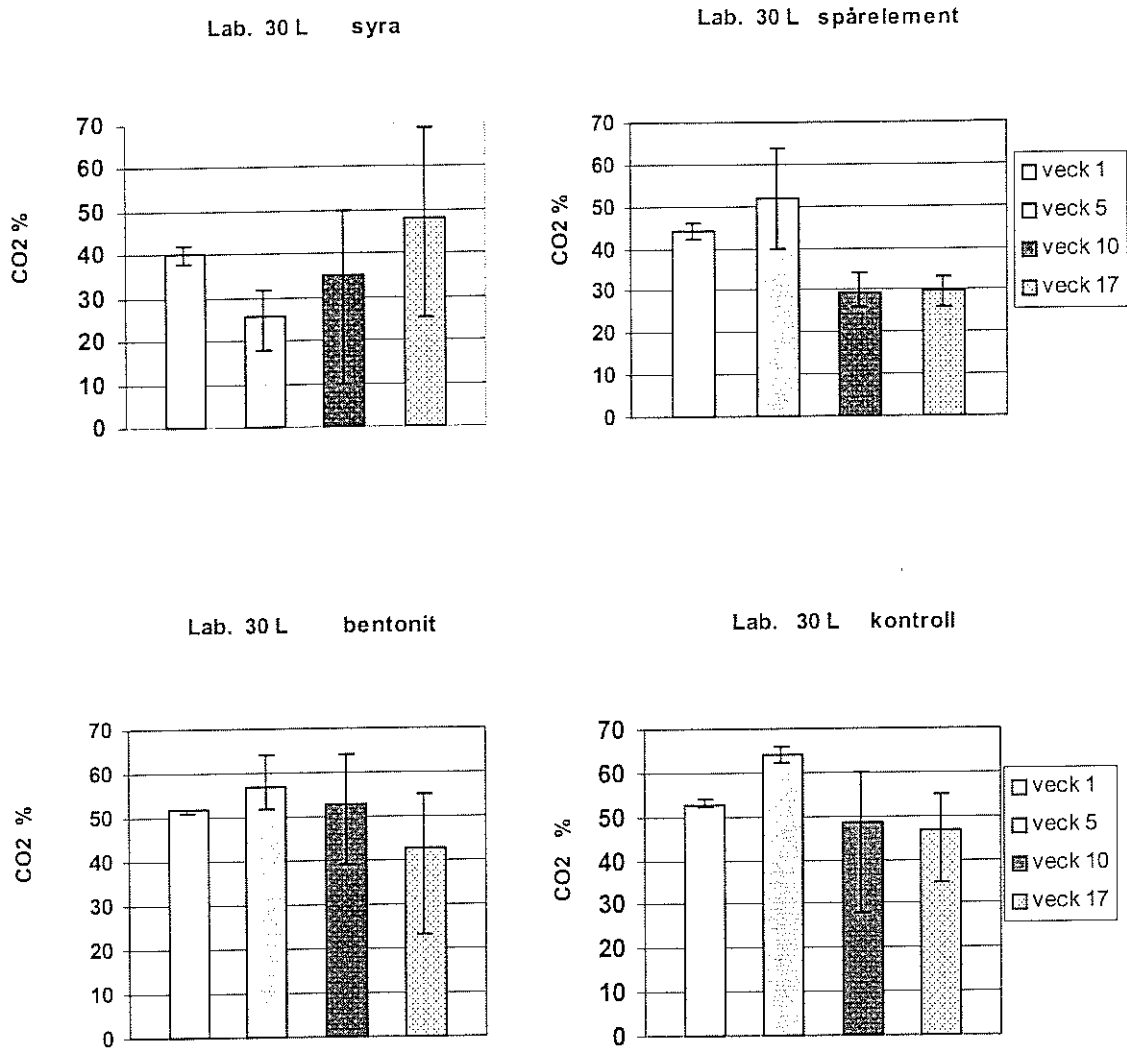
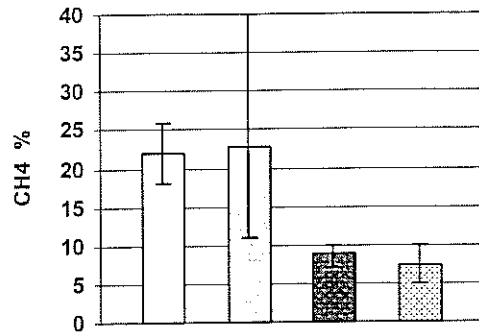


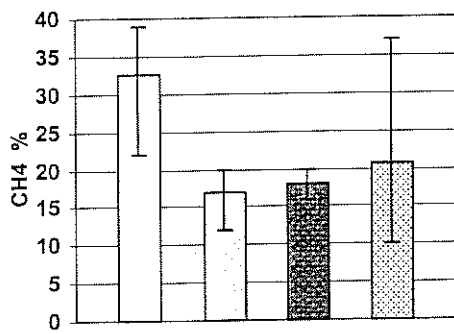
Bild.2. Gasens koldioxidhalt i laboratorieförsök I.

# Lab 30 1: ingen metanproduktion

## Lab. 30 L spårelement



## Lab. 30 L bentonit



## Lab. 30 L kontroll

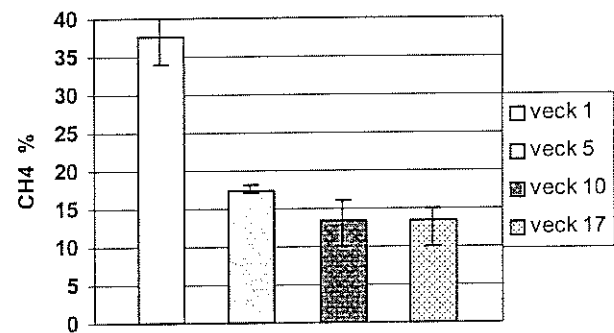


Bild 3. Gasens metanhalt i laboratorieförsök I.

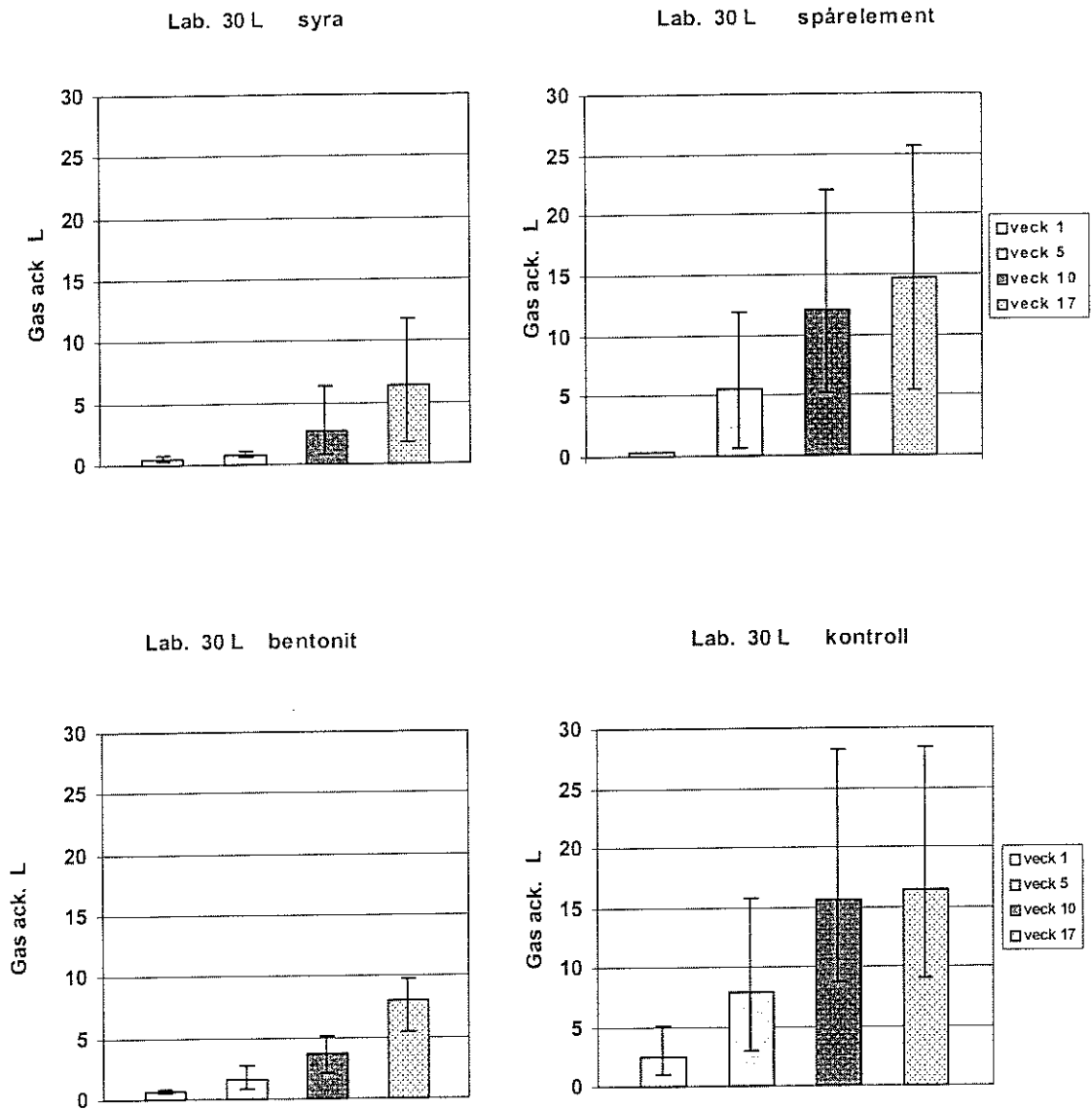
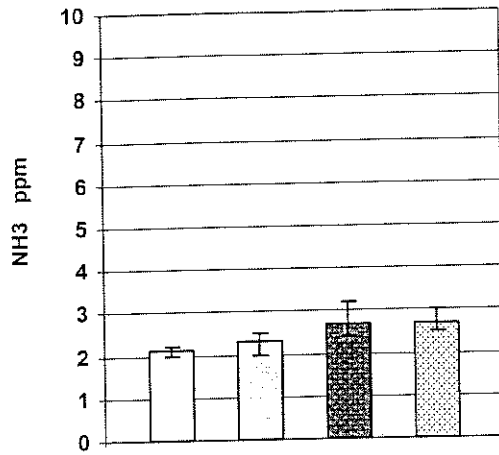
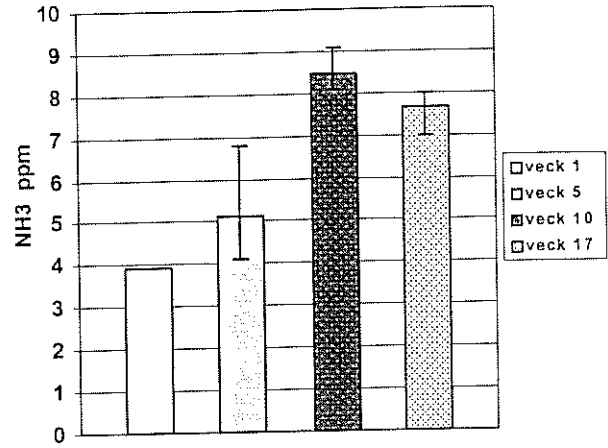


Bild 4. Sammanlagt bildad gasvolym i laboratorieförsök I.

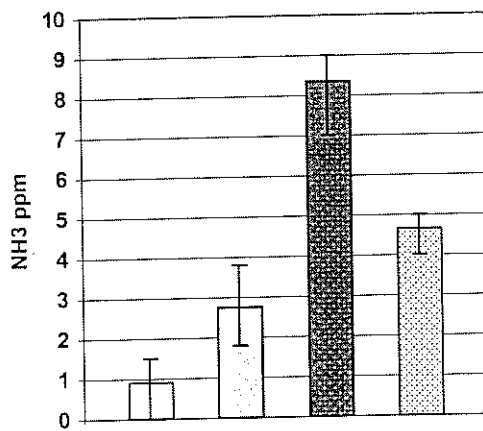
Lab. 30 L syra



Lab. 30 L spårelement



Lab. 30 L bentonit



Lab. 30 L kontroll

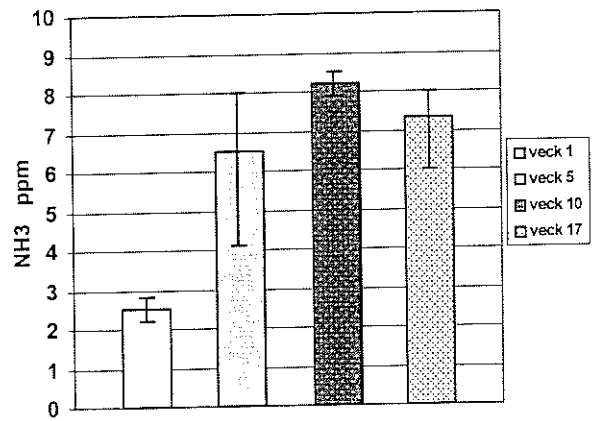


Bild 5. Ammoniakhalt i gasen över gödseln i laboratorieförsök I.

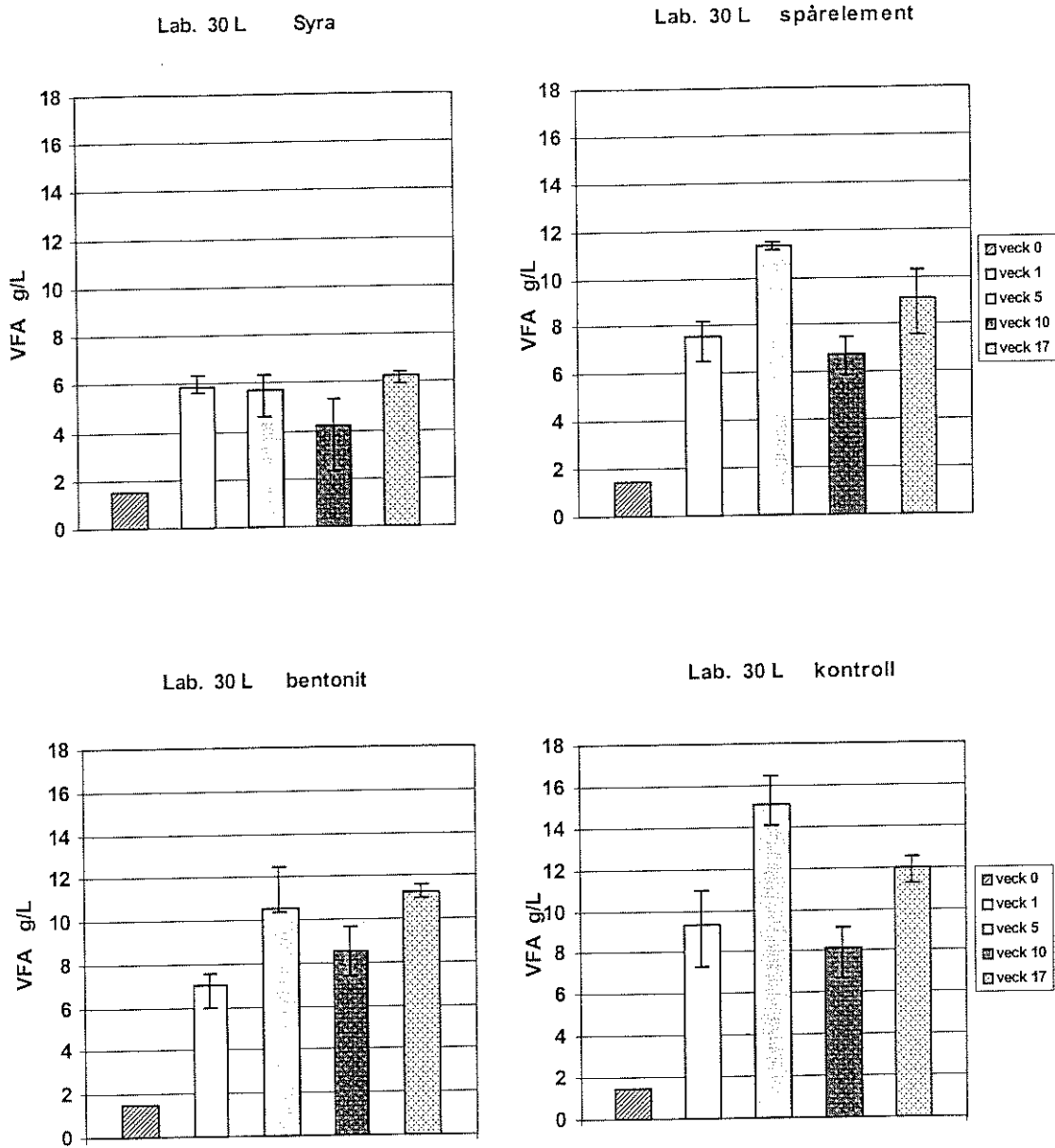
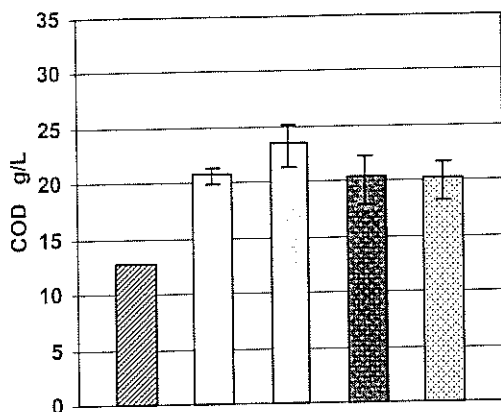
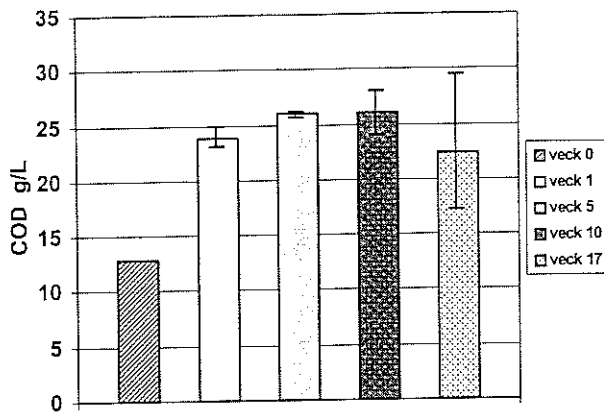


Bild 6. Halten flyktiga fettsyror i laboratorieförsök I.

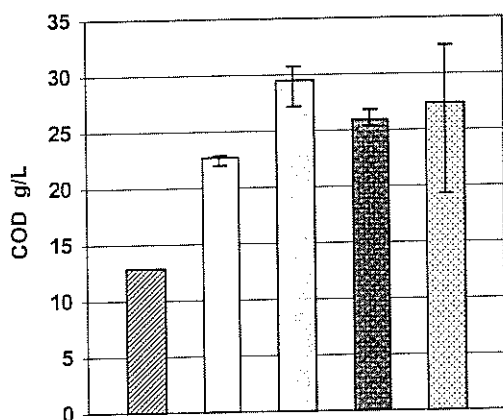
Lab. 30 L syra



Lab. 30 L spårelement



Lab. 30 L bentonit



Lab. 30 L Kontroll

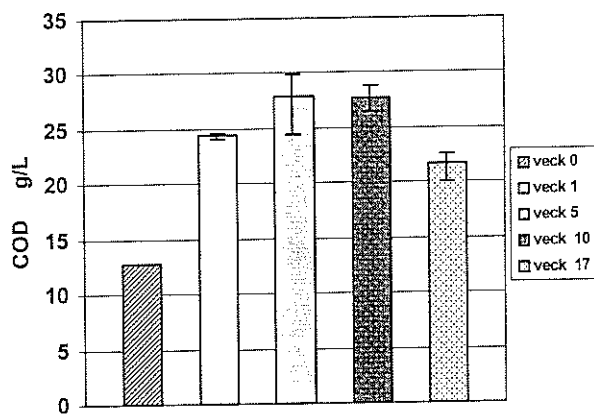
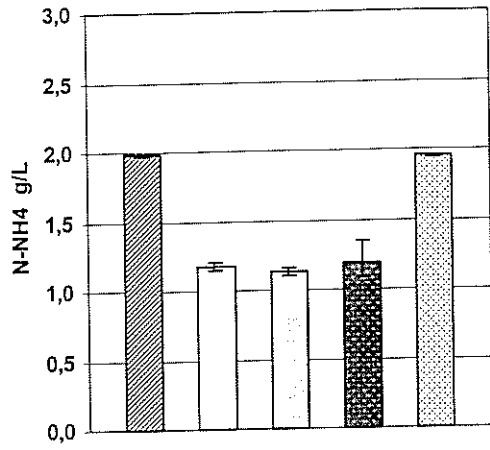
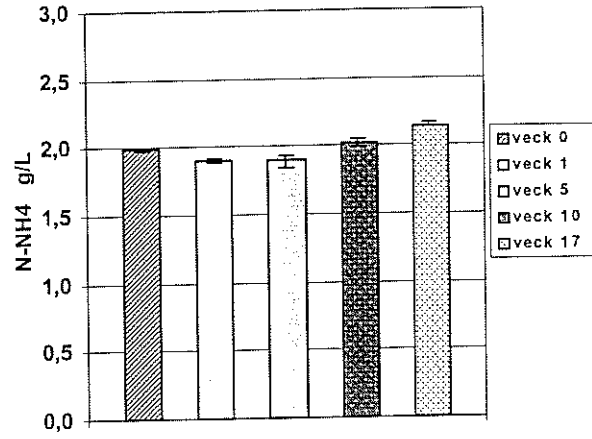


Bild 7. Halten löst COD i gödselvätskan i laboratorieförsök I.

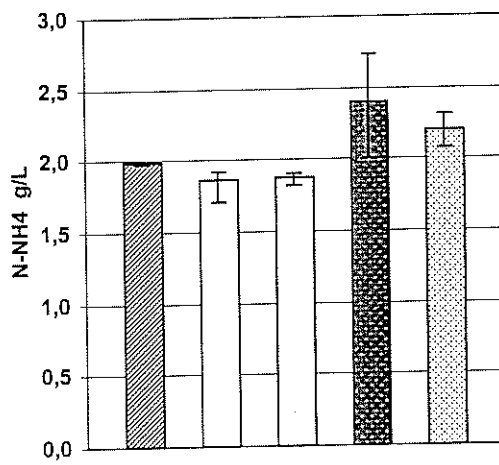
Lab. 30 L syra



Lab. 30 L spårelement



Lab. 30 L bentonit



Lab. 30 L kontroll

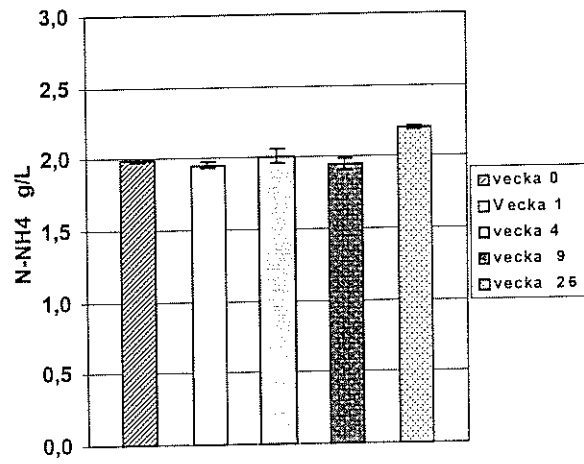


Bild 8. Ammoniumhalten i gödselvätskan i laboratorieförsök I.

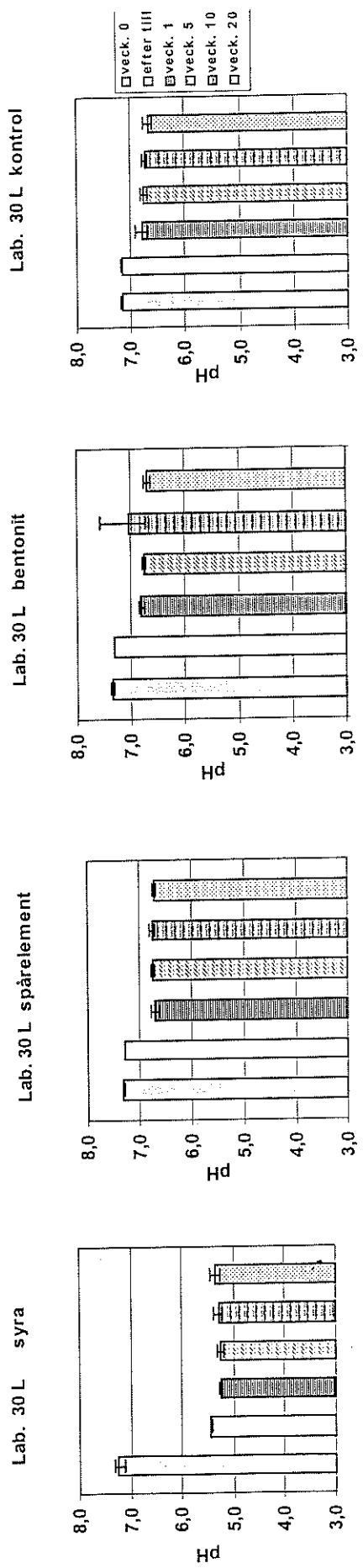
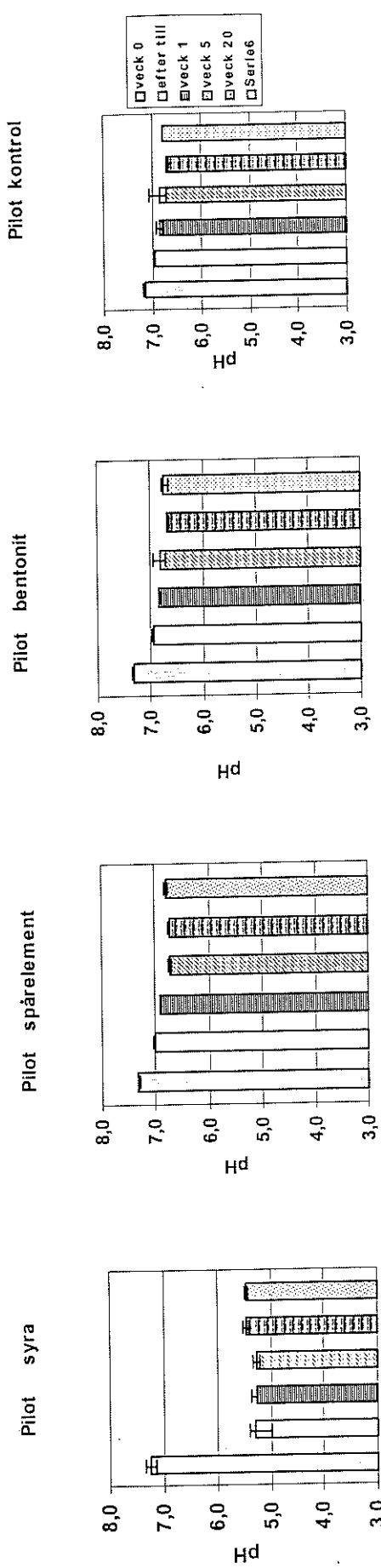


Bild 9. Förändringar i pH under laboratorieförsök II och pilotförsök I.

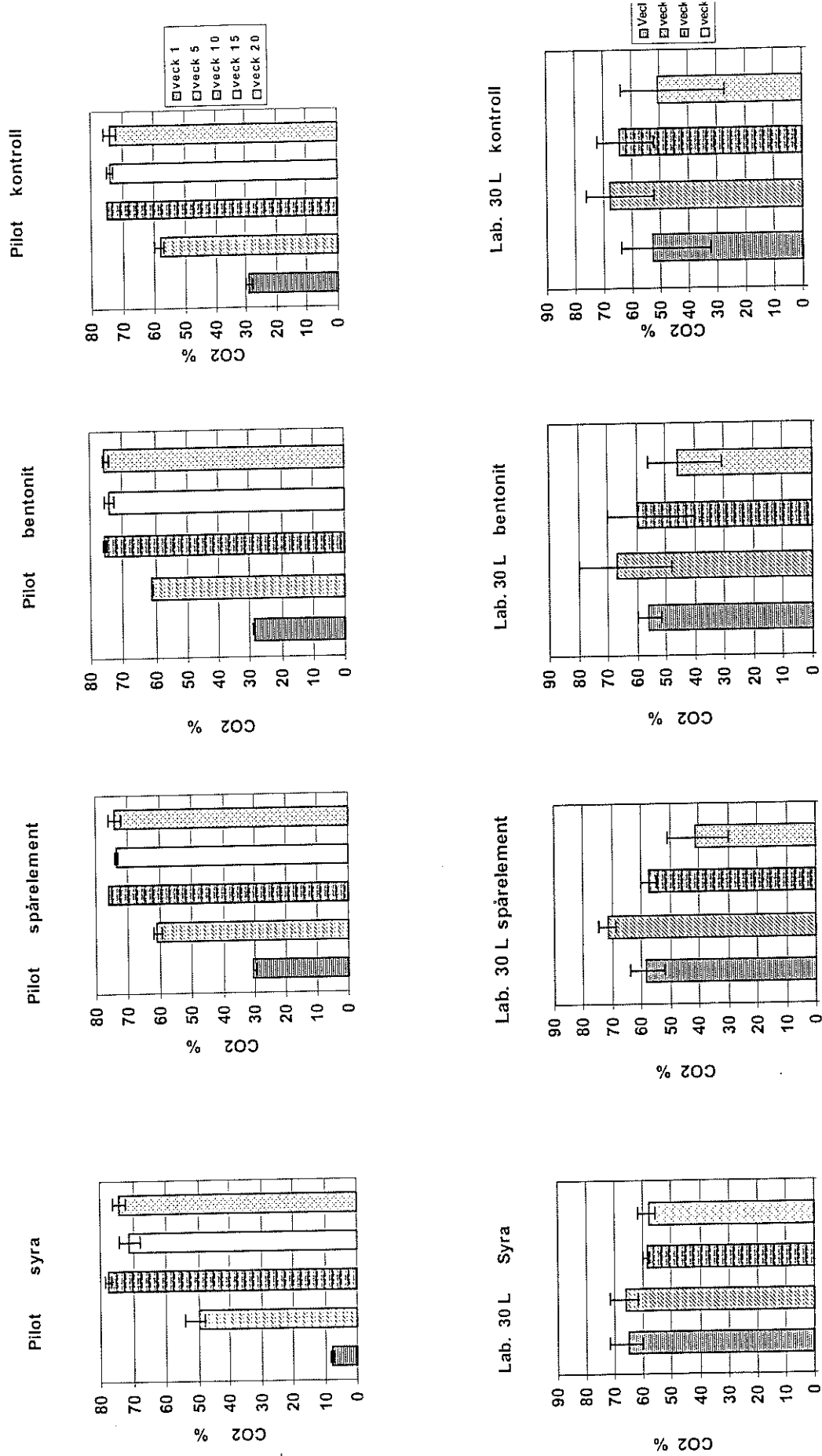
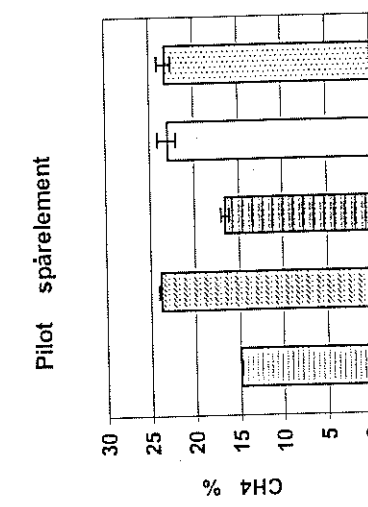
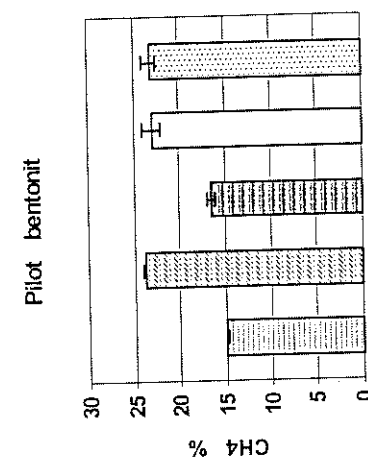
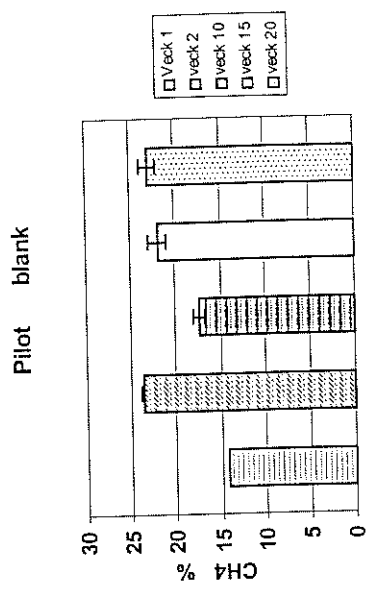
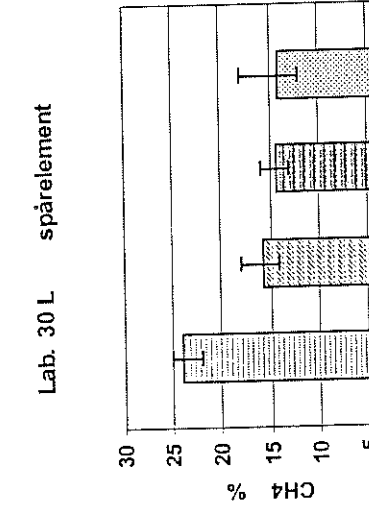
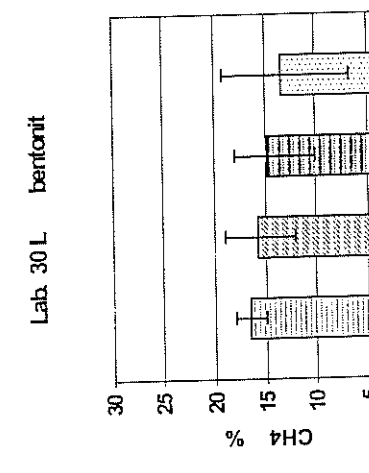
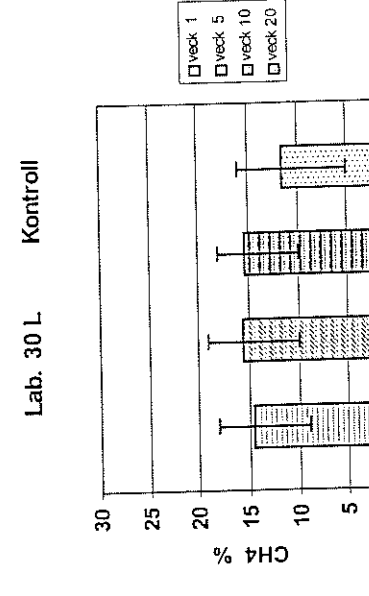


Bild 10. Gasens koldioxidhalt under laboratorieförsök II och pilotförsök I.



Pilot syra: ingen metanproduktion



Lab 30 l syra: ingen metanproduktion

Bild 11. Gasens metanhalt under laboratorieförsök II och pilotförsök I.

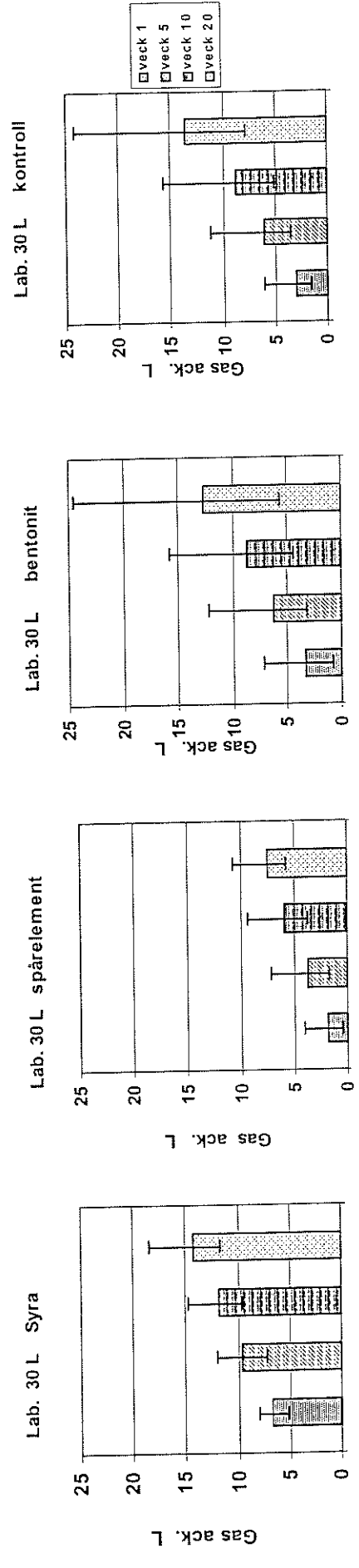
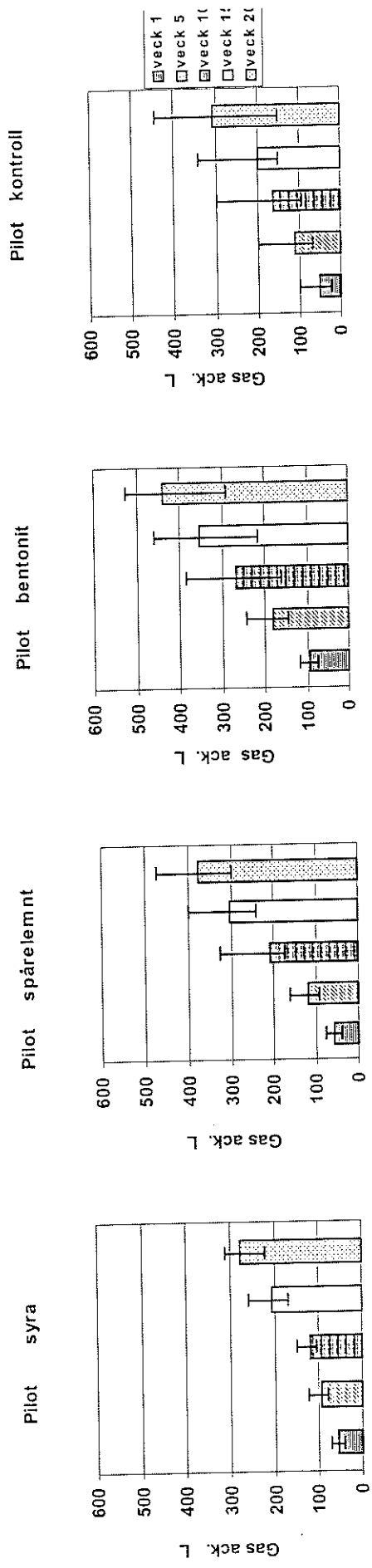


Bild 11. Sammanlagt bildad gasvolym under laboratorieförsök II och pilotförsök I.

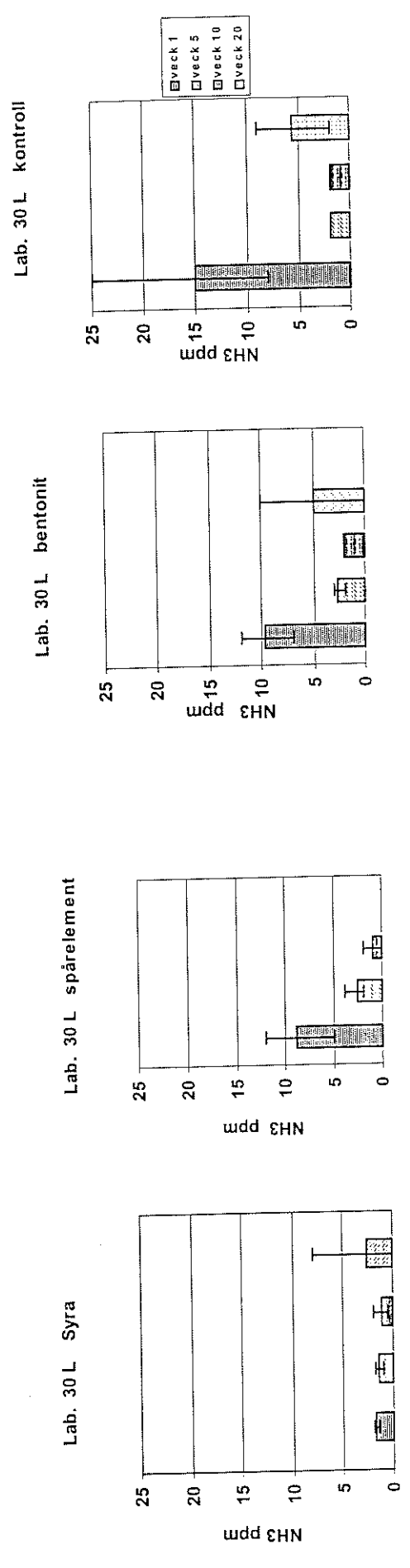
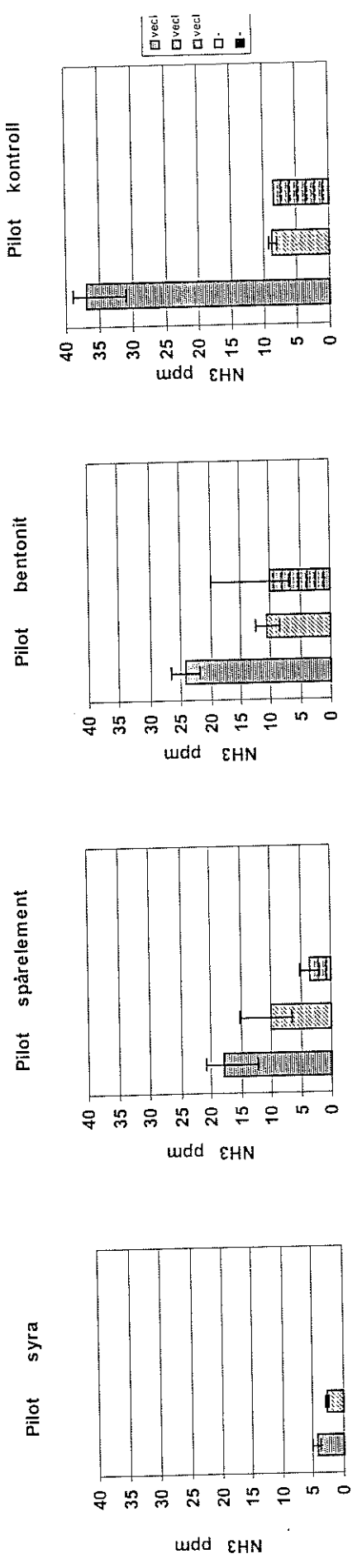


Bild 12. Ammoniakhalt i gasen över gödseln under laboratorieförsök II och pilotförsök I.

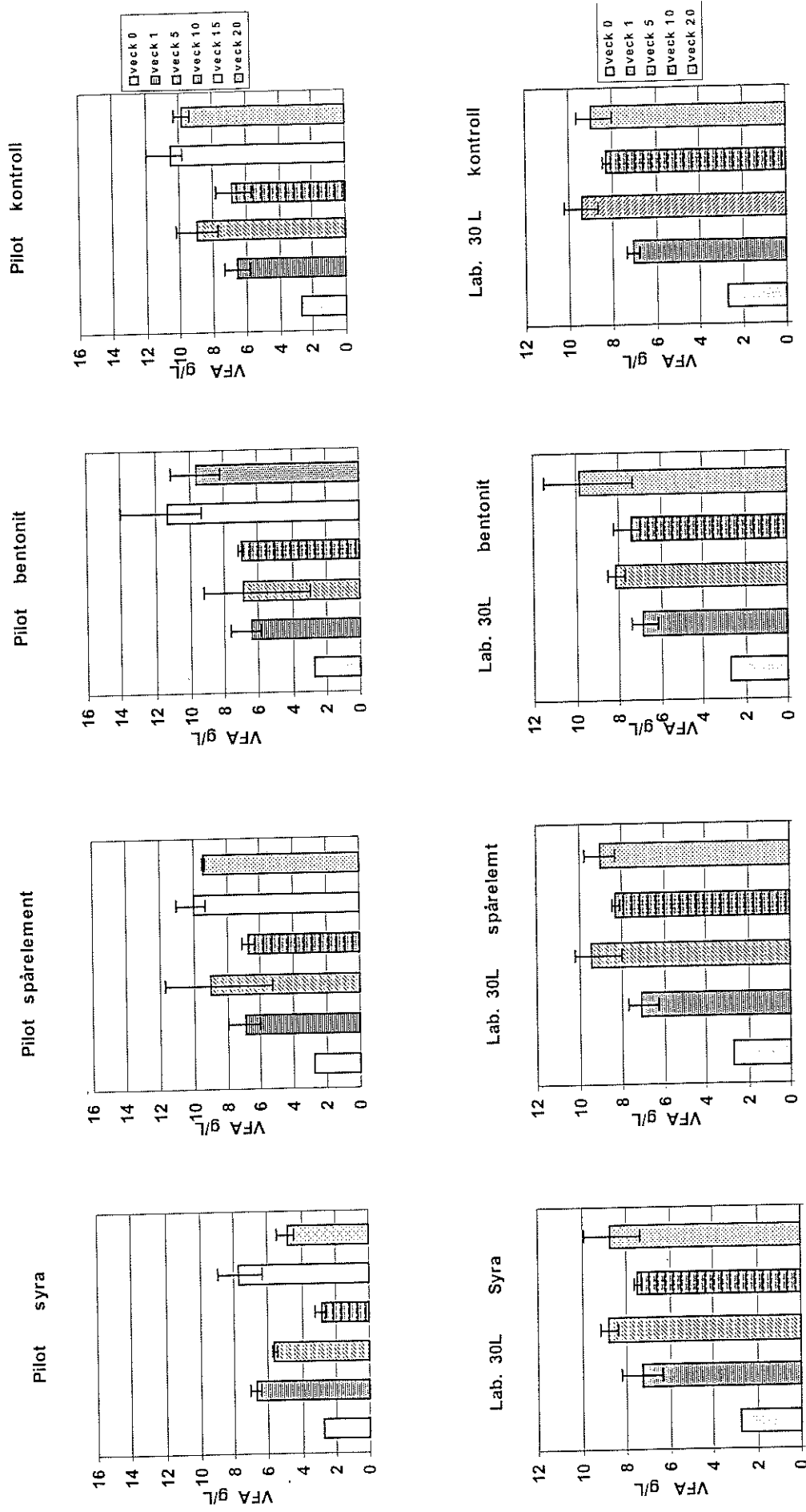


Bild 13. Halten flyktiga fettsyror under laboratorieförsök II och pilotförsök I.

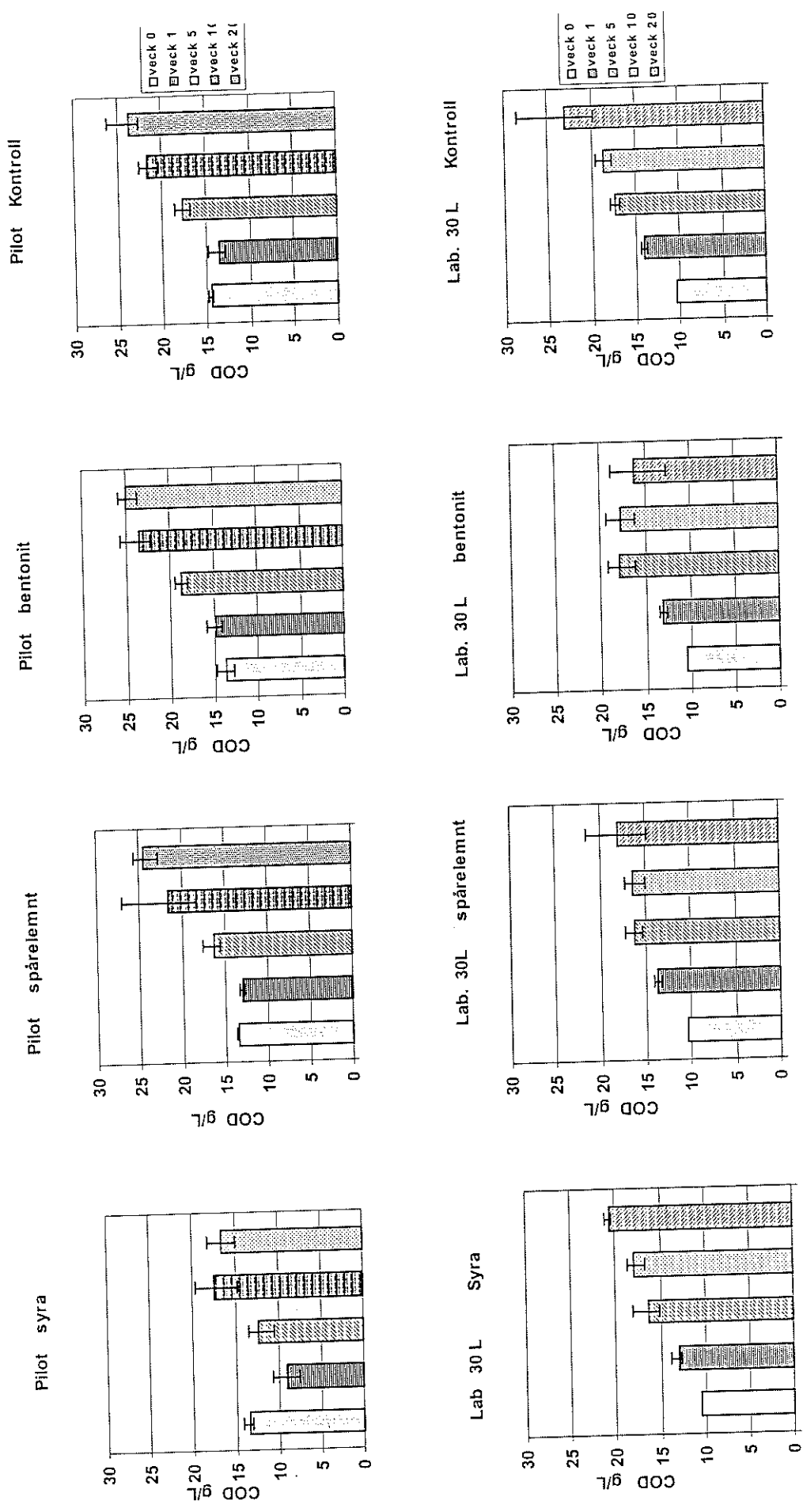


Bild 14. Hållten löst COD under laboratorieförsök II och pilotförsök I.

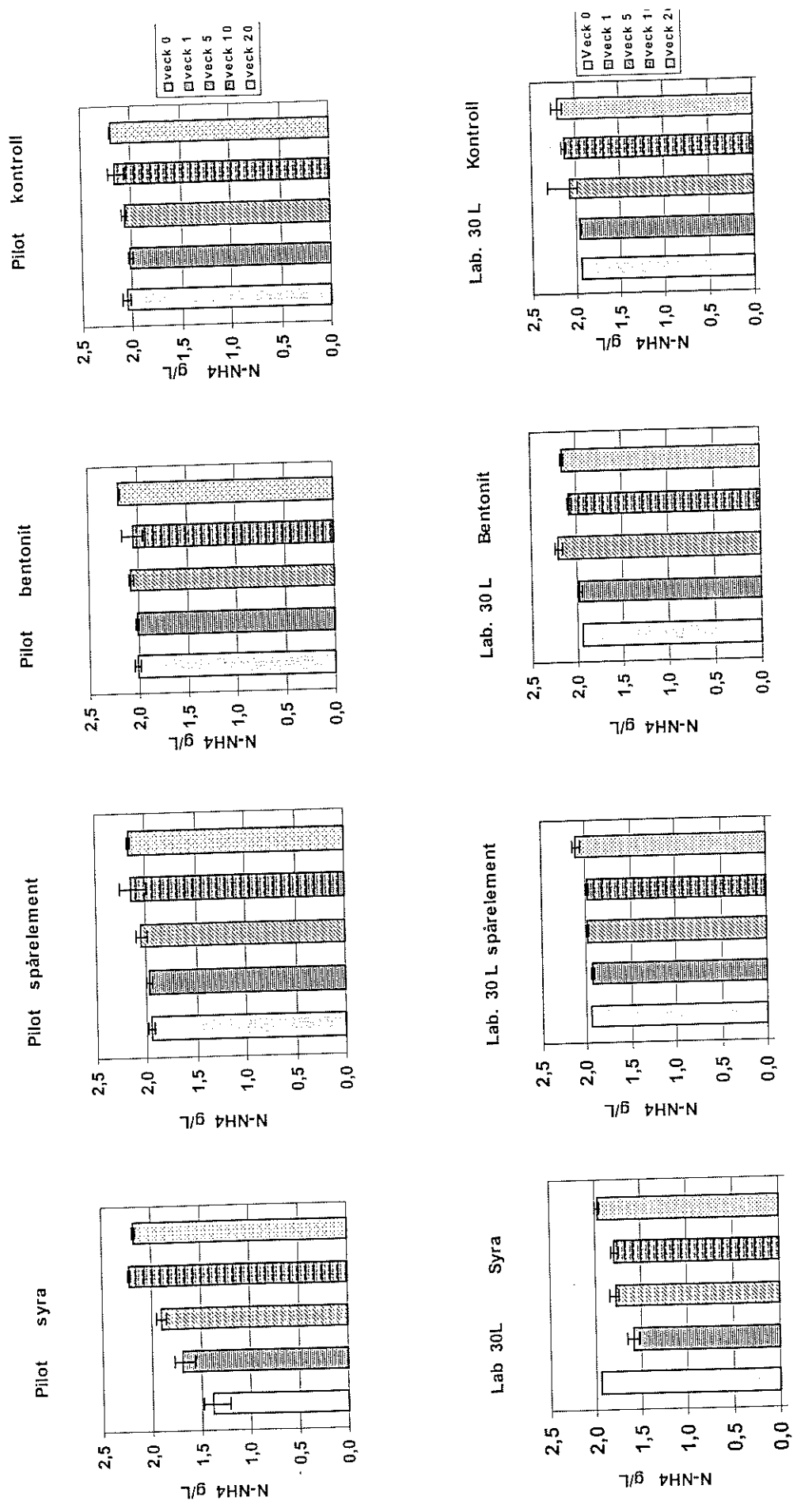


Bild 15. Ammoniumhalten i gödselvätskan under laboratorieförsök II och pilotförsök I.

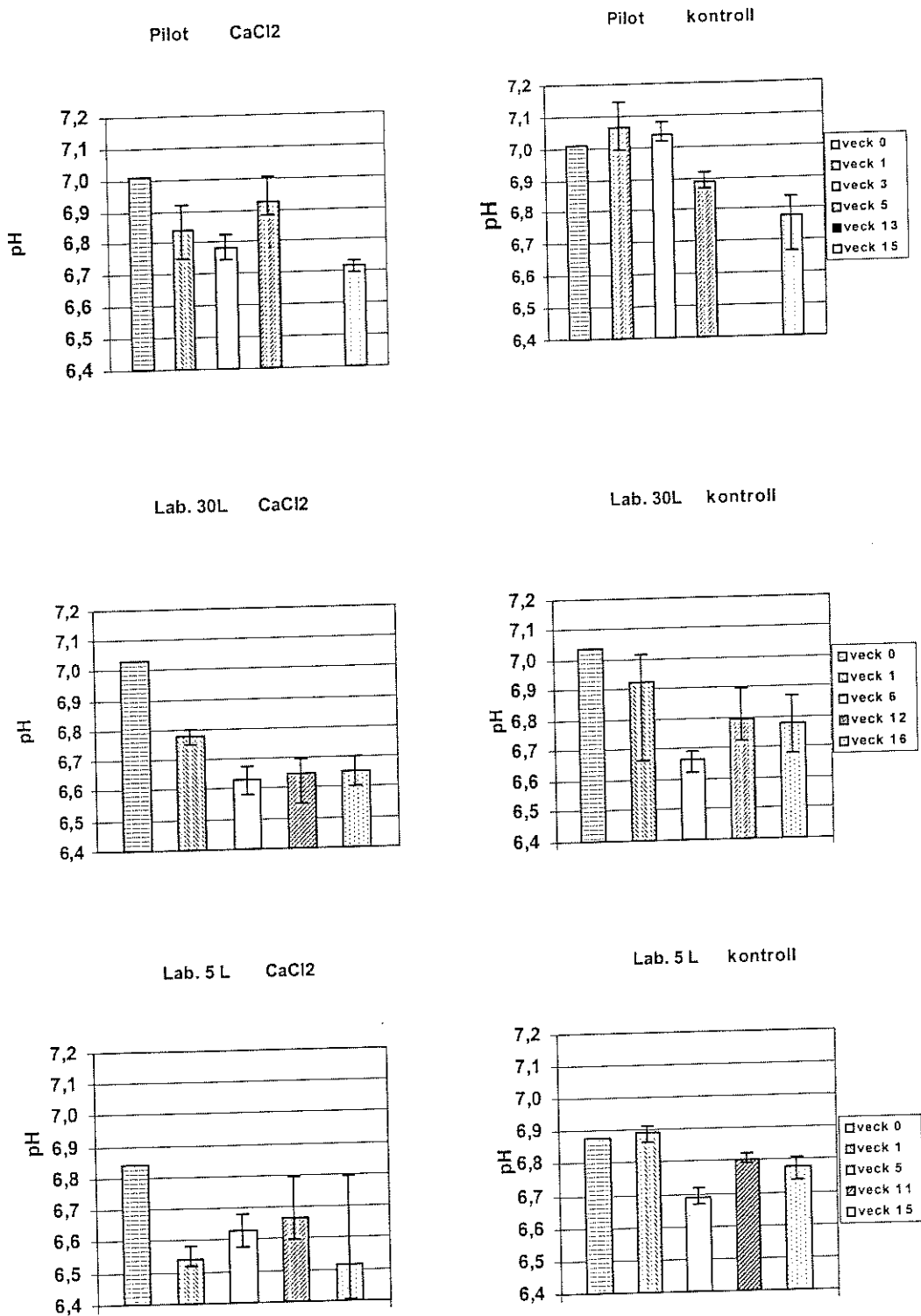


Bild 16. pH i gödsvätskan under laboratorieförsök III, pilotförsök II och laboratorieskala 5 liter.

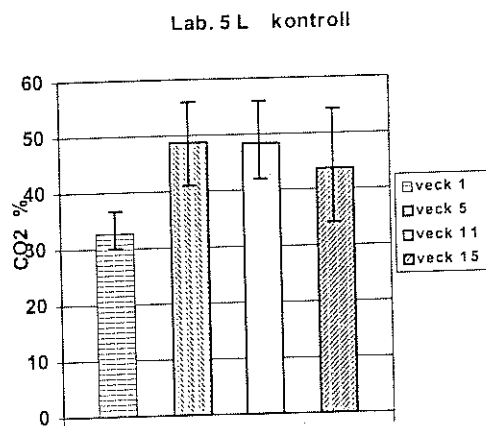
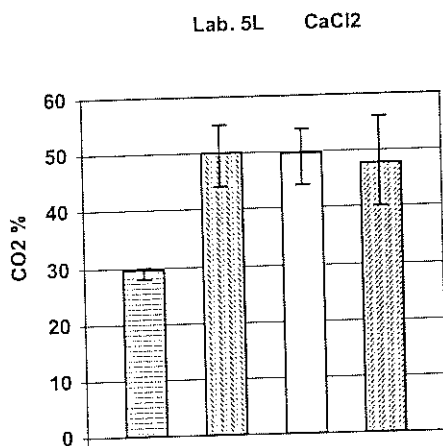
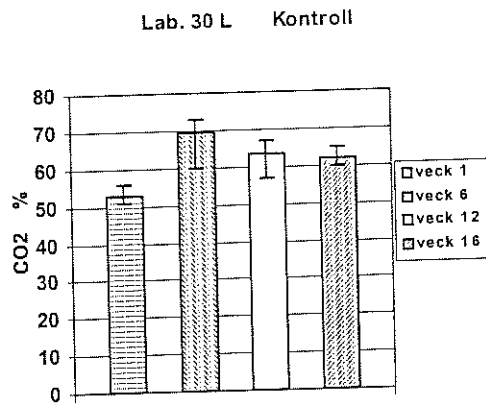
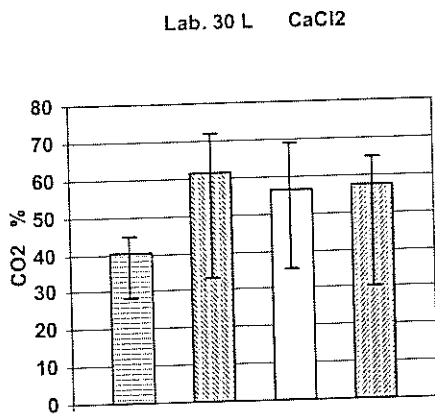
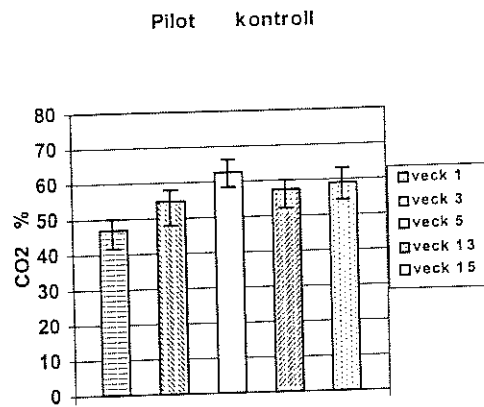
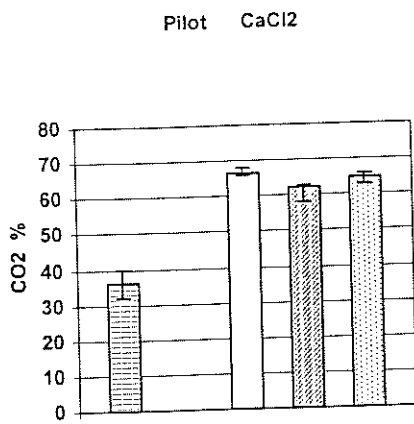


Bild 17. Gasens koldioxidhalt under laboratorieförsök III, pilotförsök II och laboratorieskala 5 liter.

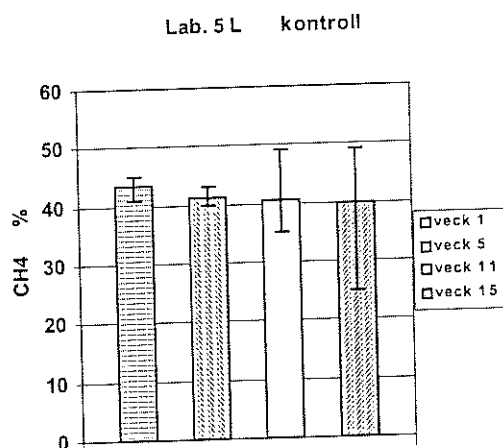
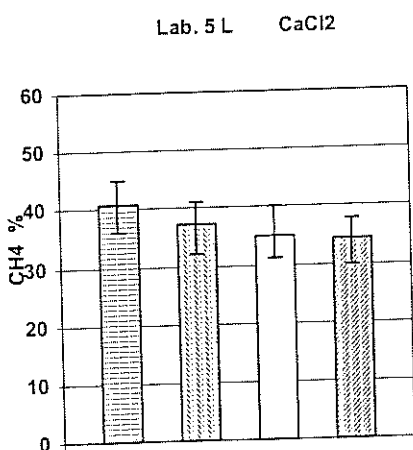
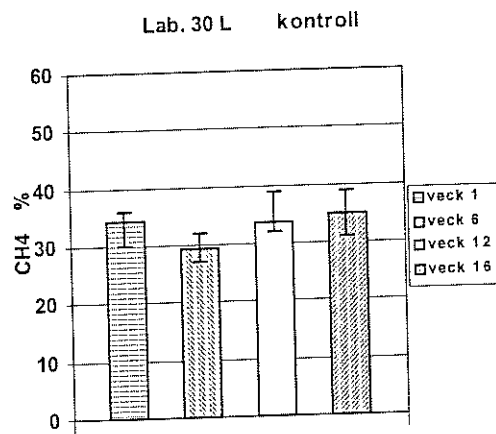
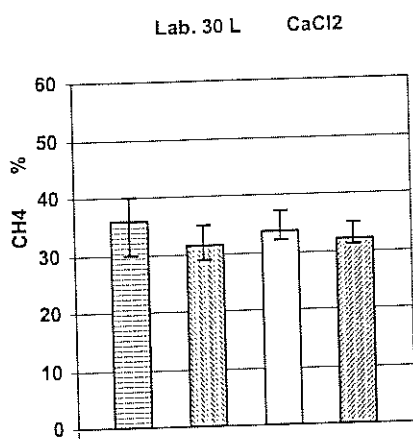
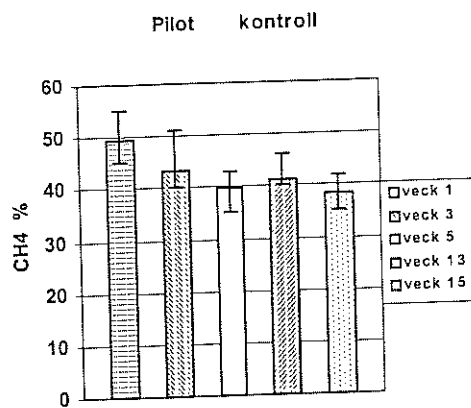
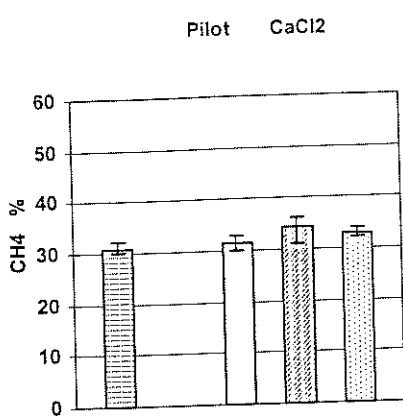


Bild 18. Gasens metanhalt under laboratorieförsök III, pilotförsök II och laboratorieskala 5 liter.

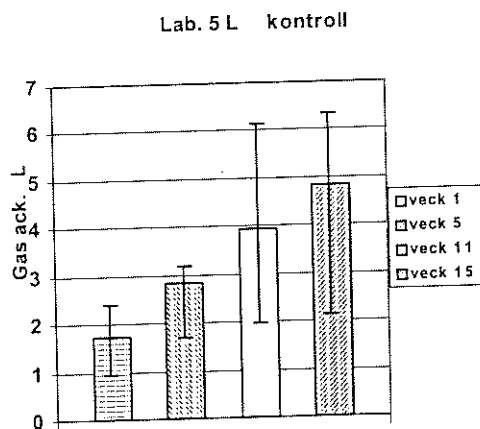
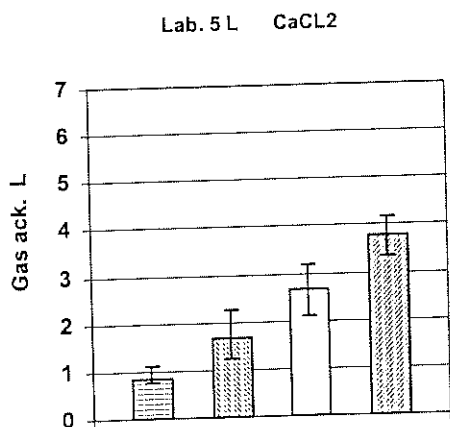
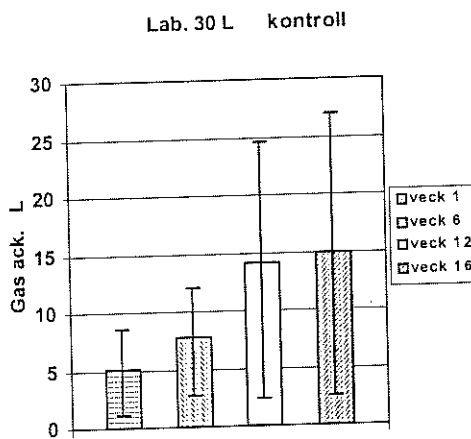
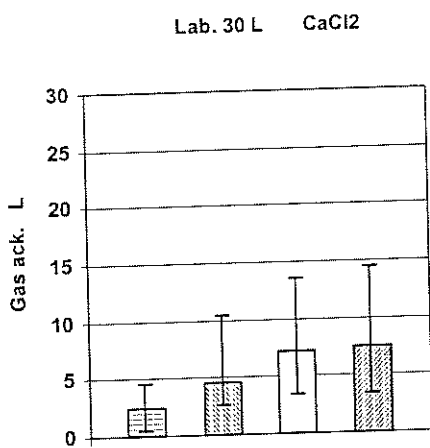
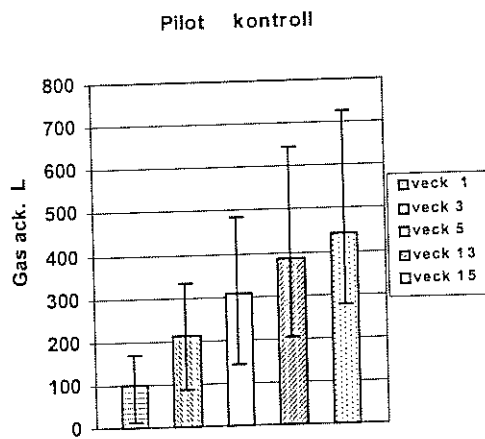
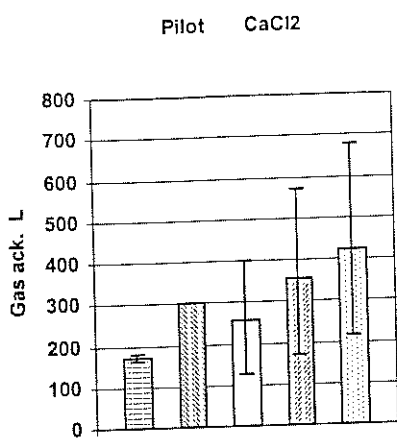


Bild 19. Bildad gasvolym under laboratorieförsök III, pilotförsök II och laboratorieskala 5 liter.

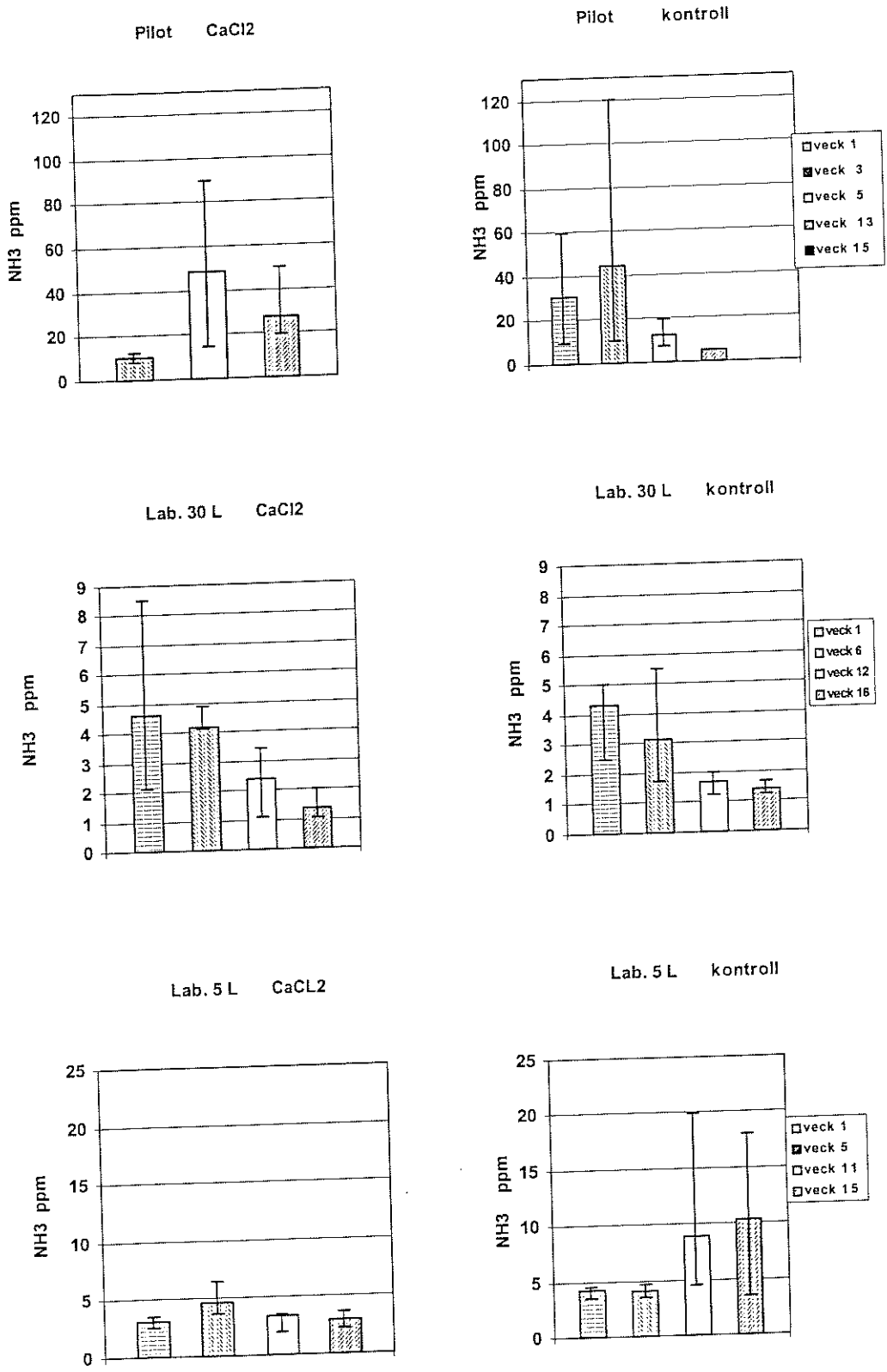


Bild 20. Ammoniakhalt i gasfasen under laboratorieförsök III, pilotförsök II och laboratorieskala 5 liter.

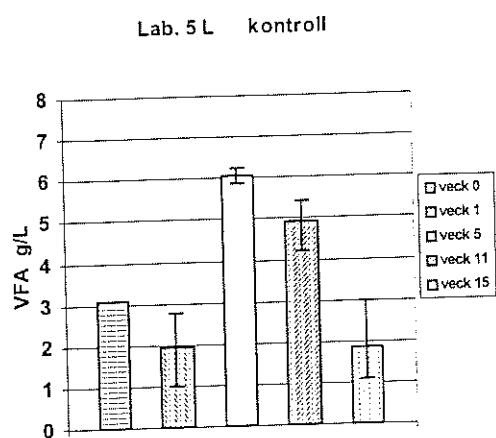
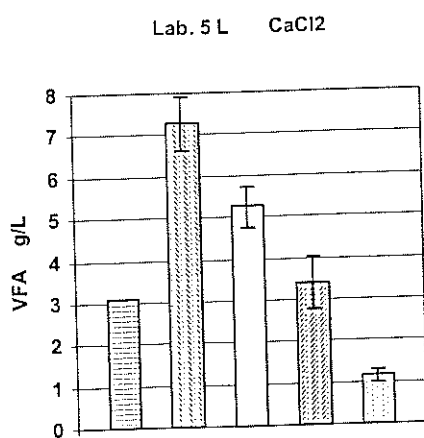
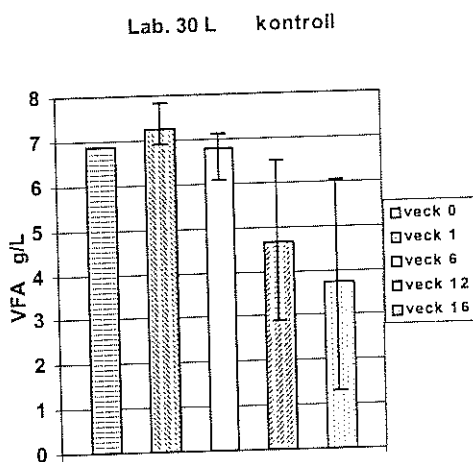
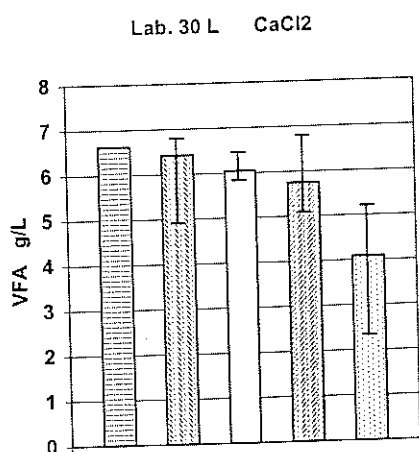
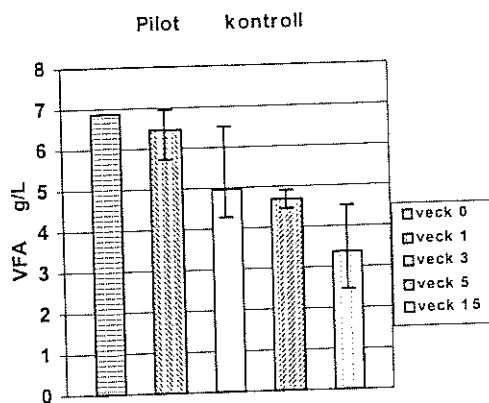
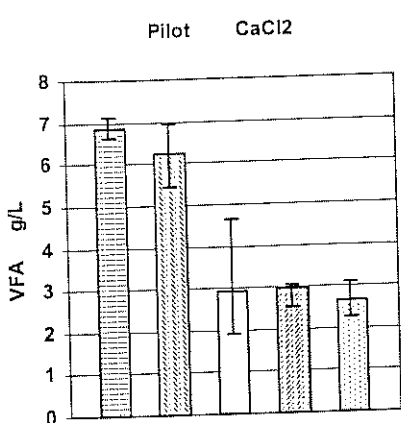


Bild 21. Halt flyktiga fettsyror i gödselvätskan under laboratorieförsök III, pilotförsök II och laboratorieskala 5 liter.

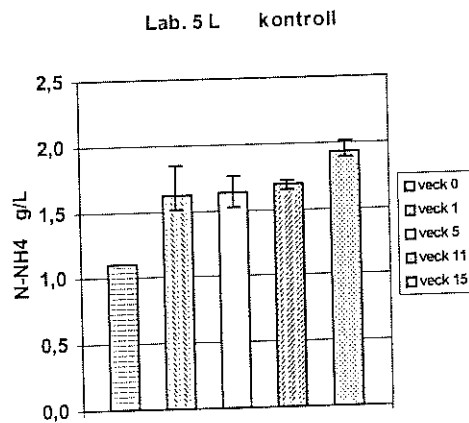
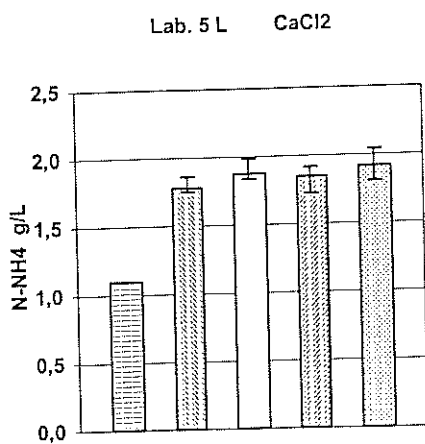
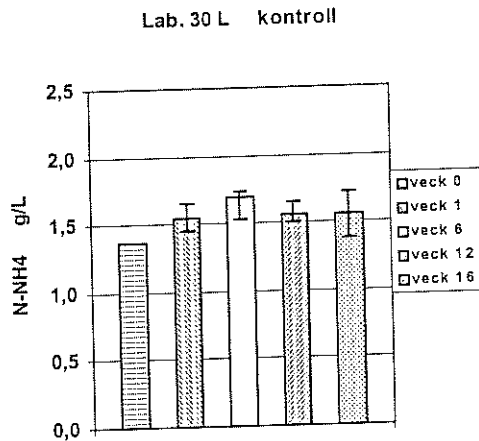
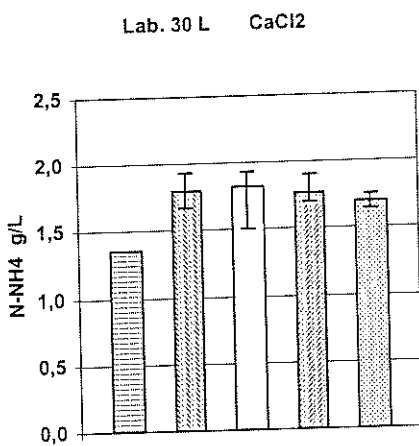
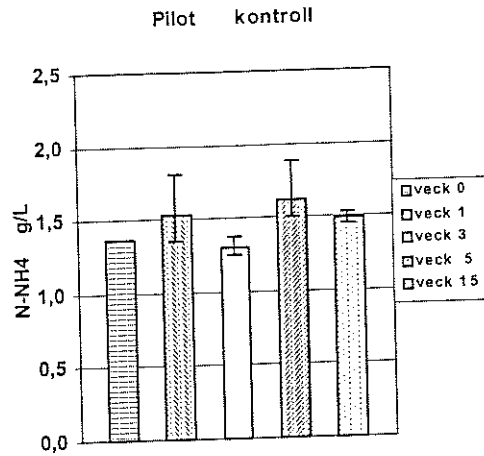
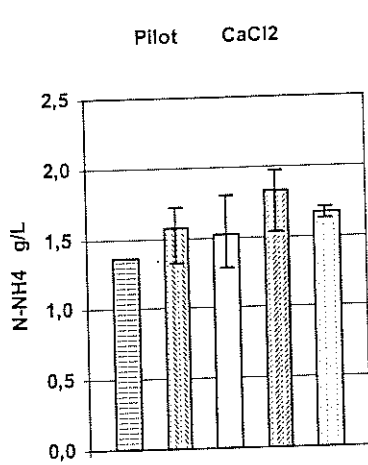


Bild 22. Ammoniumhalt i gödselvätskan under laboratorieförsök III, pilotförsök II och laboratorieskala 5 liter.



## Sammansättning av spårämneslösning

I följande tabell visas koncentrationen av de olika spårmetallerna som tillsätts anaeroba mikroorganismer. Lösningen som innehåller de angivna koncentrationerna kallas 1xBM (BM betyder basalmedium). I försöken har vi använt femdubbla och åttadubbla koncentrationer, alltså 5xBM och 8xBM.

Kemikalie	Slutkoncentration (µg/l)
FeCl <sub>2</sub> · 4H <sub>2</sub> O	2000
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	50
ZnCl <sub>2</sub>	50
CuCl <sub>2</sub> · 2H <sub>2</sub> O	38
MnCl <sub>2</sub> · 2H <sub>2</sub> O	41
(NH <sub>4</sub> ) <sub>6</sub> Mo <sub>7</sub> O <sub>24</sub> · 4H <sub>2</sub> O	50
AlCl <sub>3</sub>	50
CoCl <sub>2</sub> · 6H <sub>2</sub> O	50
NiCl <sub>3</sub> · 6H <sub>2</sub> O	50
EDTA (etylendiamintetraacetat), C <sub>10</sub> H <sub>14</sub> N <sub>2</sub> Na <sub>2</sub> O <sub>8</sub> · 2H <sub>2</sub> O	500
Konc HCl	1 µl

