



STØTTET AF
Promilleafgiftsfonden for landbrug

Ammoniakfordampning fra forskellige udbringnings- teknologier i slætgræs



**TEKNOLOGISK
INSTITUT**



Ammoniakfordampning fra forskellige udbringningsteknologier i slætgræs

Udarbejdet af

Teknologisk Institut
Agro Food Park 15
8200 Aarhus N
Markteknologi

September 2022, version 2.1

Forfatter: Simon Wilhelm Løvstrøm Granath, Sune Petersen, Svend Vendelbo Nielsen, Ann Britt
Værge

Forsidefoto: Torkild Birkmose, SEGES Innovation



1. Indhold

2.	Formål og baggrund.....	4
3.	Metoder	4
3.1.	Forsøgsbehandlinger	4
3.2.	Ammoniakmålinger i marken	5
3.3.	Opgørelse af data og statistisk analyse	6
4.	Resultater	8
5.	Diskussion og konklusion	11
6.	Bilag.....	12



2. Formål og baggrund

En stadig større andel af kvæggylle afgasses, hvorfor der er behov for forsøg til at afdække betydningen af udbringningsteknik for blandt andet ammoniakfordampning i slætgræs.

På nuværende tidspunkt er det et krav ifg. *Gødningsanvendelsesbekendtgørelsen*, Nr. 1142, Kap. 2, at udbringning af afgasset gylle sker med nedfældning eller slangeudlægning med forsuring. Ved forsuring af afgasset gylle ved udbringning, skal der tilsættes 11 kg 96%-svovlsyre pr. ton. Det ønskes derfor undersøgt om udbringning med Bomech bom (slæbesko) og en nedsat syremængde kan fungere som et supplement til de nuværende godkendte udbringningsteknikker. Der undersøges ligeledes effekten ved udbringning af slangeudlagt separeret afgasset gylle, hvor der hverken er krav om nedfældning eller forsuring, men et krav om maks. 3,6 pct. tørstof.

3. Metoder

3.1. Forsøgsbehandlinger

I dette notat omtales kun resultater for ammoniakfordampning, der er foretaget som en del af et større markforsøg: *030012222-001 Teknik til udbringning af afgasset og rågylle samt separeret afgasset gylle til græs - med ammoniakmålinger*. Der er foretaget ammoniakmålinger i 3 ud af 4 gentagelser for hhv. led 9, 10, 11 og 13 (se tabel 1 for beskrivelse af behandlinger i hvert led). Leddene er randomiseret indenfor hver gentagelsesblok. Ammoniakmålinger er foretaget i 2 kampagner – én i forbindelse med gylleudbringning (60 kg NH₄-N) før 1. slæt (05-04-2022) og én efter 2. slæt (23-06-2022). Den første kampagne var karakteriseret ved kolde forhold, mens den anden kampagne var karakteriseret ved tørre og varme forhold, se resultater (Tabel 4) for oversigt over vejrforhold. Der blev udtaget prøver af gylle ved udbringning til analyse og der blev målet temperatur og pH ved udbringning i gyllestrengen. Det blev tilsigtet at pH blev målt lige efter udbringning for at få den mest præcise måling af pH, dog kan pH udvikle sig hurtigt i perioden efter udbringning, hvilket kan skabe en usikkerhed i målingerne.

Tabel 1 Oversigt over forsøgsbehandlinger, hvor der er foretaget ammoniakmålinger, samt beskrivelse af behandlingerne.

Led	Kvælstofmængde	Behandling	
9	240 N	Afgasset gylle	Nedfældet
10	240 N		Slangeudlagt + 6,0 l syre
11	240 N		Slæbesko + 2,5 l syre
13	240 N	Separeret afgasset gylle	Slangeudlagt



3.2. Ammoniakmålinger i marken

Der blev målt i 3 gentagelser af hvert led, og dermed 12 parceller i alt. Derudover blev der målt på baggrundsemissionen ved luftindtaget til friskluftsystemet. Ammoniakemission blev målt over en periode på 4 døgn, men efter 3 døgn var niveauet stabilt nede på samme lave niveau for alle parceller sammenlignet med referencemålingen og derfor er der kun inkluderet data fra de 3 første døgn ved hver kampagne.

Til at måle ammoniakemissionen over perioden, blev der anvendt et af Teknologisk Institut nyudviklet friskluftsystem med vindtunneller. Systemet er baseret på online målinger med metoden Cavity Ring-Down Spectroscopy (CRDS) vha. et Picarro-måleapparat.

Friskluftsystemet fungerer på den måde, at der trækkes atmosfærisk luft ind fra det samme sted til alle parceller, således, at alle har samme baggrund uanset placering på marken. Åbningen til friskluftsystemet er placeret ca. 20 meter fra centrum af forsøget. Luften kan trækkes ind fra begge sider afhængig af vindforholdene i perioden. Ammoniakemissionen måles i vindtunneller, hvor der holdes et flow på $250 \text{ m}^3/\text{t}$ svarende til $0,37 \text{ m/s}$ hen over afgrødefladen inde i måleområdet ($\text{m}^3 \text{ luft} / 3600 / \text{areal af kammer} = \text{m/sek.}$) Der er ved udvikling af friskluftsystemet udført test til bestemmelse af flowfordelingen i vindtunnellerne vha. afdampningsforsøg med etanol. Disse viste en fin fordeling i hele tunnelens bredde.

Umiddelbart efter gylleudbringning i en parcel, blev en metalramme sat i jorden, på et repræsentativt område i parcellen. Straks efter blev en vindtunnel installeret og spændt fast til rammen, og måling fra vindtunnellen opstartet. Der blev målt i 10 minutter fra hvert kammer. Samme procedure blev fulgt for hver parcel indtil alle vindtunneller var installeret i forsøget. Herefter blev der målt i 10 min. pr. parcel og ligeledes fra referencen efter hver runde af målinger i alle parceller.



Figur 1 Fotoet viser ammoniak-målesystemet i forsøget. Friskluftsystemet ses med luftindtræk fra to sider på tværs af forsøget. Friskluftsystemet sender luft gennem rørene og det vil sige at det er den samme luft som sendes hen over arealet inde i alle vindtunnellerne. Målevognen er placeret i midten og her samles alle måleslanger fra vindtunnellerne, hvor der måles ammoniakkoncentration via Picarro (foto: Torkild Birkmose, SEGES Innovation).

3.3. Opgørelse af data og statistisk analyse

Referencemålinger er foretaget før og mellem målinger fra forsøgsparcellerne. Selvom der trækkes baggrundsluft ind via friskluftsystemet et stykke fra selve området, hvor der udbringes gylle, var det tydeligt at referenceemissionen steg da der blev udbragt gylle i forsøget. For at tage højde for udviklingen i baggrundsemissionen, er der udarbejdet en model, som sikrer en repræsentativ baggrundsmåling, således, at den baggrundsemission, som trækkes fra, svarer til den forventede baggrundsemission på tidspunktet for måling i den enkelte parcel.

Picarro-systemet måler hvert sekund og fra en vindtunnel ad gangen. Når systemet skifter mellem to vindtunneller, vil der stadig være luft fra den foregående vindtunnel i målesystemet. Dette er grunden



til, at der måles i 10 minutter fra hver vindtunnel. For at undgå at få inkluderet data, som er kontamineret med luft fra den forrige vindtunnel, med i beregningerne, bruges kun den gennemsnitlige koncentration af de 10 sidste målinger, før der skifter til næste vindtunnel.

Emissionen blev beregnet på timeniveau ud fra den gennemsnitlige ammoniakkoncentration, luftydelse og temperatur med formlen:

$$Emission_{pr. time} = \frac{\frac{(Koncentration \cdot M_{NH_3-N})}{n \cdot R \cdot T} \cdot Luftydelse}{P} \cdot 1000$$

$Emission_{pr. time} = g \text{ NH}_3\text{-N t}^{-1}$

Koncentration = ppm

$M_{NH_3-N} = 14,01 \text{ g mol}^{-1}$

Luftydelse: $m^3 t^{-1}$

$n = 1 \text{ mol}$

$R = 8314,46 \text{ L}\cdot\text{Pa}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{mol}^{-1}$

T = Kelvin

$P = 101.325 \text{ Pa}$

Fordi Picarro-systemet kun kan måle en parcel ad gangen og hver måling tager 10 minutter, er der ikke målinger for alle timer for en given parcel. Derfor intrapoleres mellem målinger ved at fitte en kubisk spline til de udregnede timevise emissioner (se bilag).

De kumulerede emissioner er integralerne af forskellen mellem parcellernes kubiske splines og referencens kubiske spline. Integralerne gik fra første måling i en parcels måleperiode og 3 døgn frem.

Til de kumulative emissioner på parcelniveau, blev der fittet en ANOVA-model (se bilag for kontrolplots), som tog højde for blokeffekt. Ud fra denne model blev der udregnet 'compact letter display' for at angive hvilke behandlinger, der er signifikant forskellige fra hinanden. Metoden tog højde for 'multiple testing' ved hjælp af 'Tukey adjustment'.



4. Resultater

Ved hver udbringning blev der udtaget gylleprøver til analyse (tabel 2 og 3) og der blev ligeledes målt temperatur og pH i gyllen ved udbringning, hvor nogle led blev forsuret med svovlsyre i forskellige doser jf. behandlingsoversigt.

Tabel 2 Oversigt over resultater fra analyse af udbragt gylle ved 1. målekampagne 05-04-2022.

			Analyseresultater				Udbragte mængder		Målt ved udbringning	
Led	Analyse-ID	Gylletype	pH	Tørstof (%)	Total-N (kg/t)	NH4-N (kg/t)	Gylle, (t/ha)	NH4-N (kg/ha)	Temperatur, °C	pH
9	2188-1	Afgasset gylle	7,6	4,0	3,5	2,1	27,7	58,2	6,6	7,5
10									9,2	1,9
11									6,8	6,4
13	2194-1	Afgasset, separeret gylle	7,8	5,3	4,7	3,0	18,6	55,8	3,8	7,9

Tabel 3 Oversigt over resultater fra analyse af udbragt gylle ved 2. målekampagne 23-06-2022.

			Analyseresultater				Udbragte mængder		Målt ved udbringning	
Led	Analyse-ID	Gylletype	pH	Tørstof (%)	Total-N (kg/t)	NH4-N (kg/t)	Gylle, (t/ha)	NH4-N (kg/ha)	Temperatur, (°C)	pH
9	2192-1	Afgasset gylle	7,6	4,7	3,3	1,8	31,2	56,2	22,3	8,4
10										4,9
11										6,4
13	2198-1	Afgasset, separeret gylle	7,6	3,9	3,5	2,3	21,2	48,8	18,8	8,4

Ved 1. målekampagne blev der udbragt det der svarer til ca. 4% mere NH4-N i led 9, 10 og 11 sammenlignet med led 13. Ved 2. målekampagne blev der udbragt 13% mere NH4-N i led 9, 10 og 11 sammenlignet med led 13 ifg. analyseresultater. Forsuring i led 11 førte til kraftig reduktion af pH, særligt ved 1. målekampagne fra 7,5 til 1,9 og der var også en betydelig reduktion ved 2. kampagne fra 8,4 til 4,9.



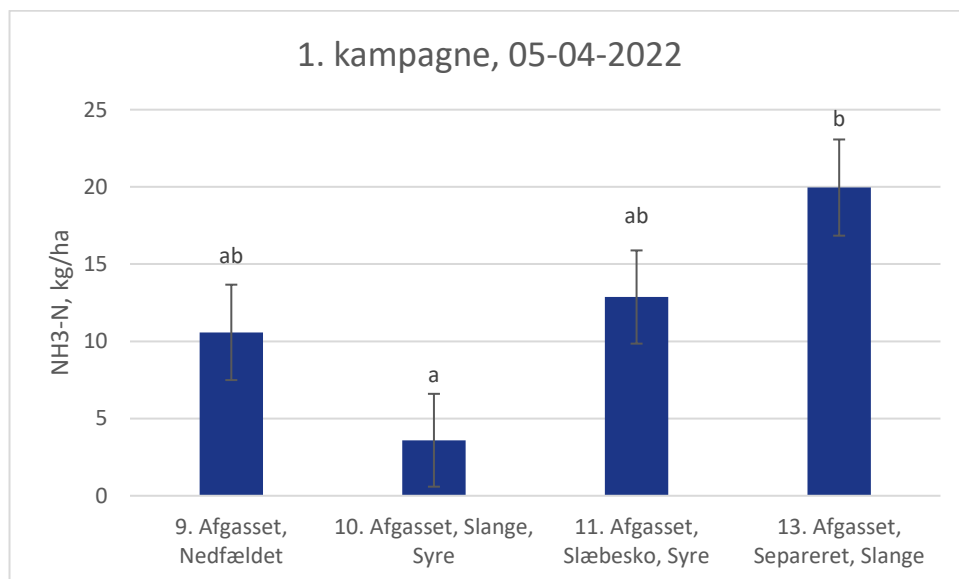
Tabel 4 Vejrforhold (RH, temperatur, vindhastighed og -retning) under de to målekampanjer.

Periode	Dato	RH% (gns. 24 t)	Temp. - °C (gns. 24 t)	Vindhastighed – m/s (gns. 24 t)	Vindretning - °
1. kampagne	05-04-2022	77,3	4,4	3,6	5
	06-04-2022	91,1	5,6	4,5	294
	07-04-2022	89,7	6,1	4,1	330
	08-04-2022	78,6	4,8	5,0	331
2. Kampagne	23-06-2022	74,5	20,2	1,4	232
	24-06-2022	76,6	20,8	3,1	338
	25-06-2022	82,8	20,0	1,3	21
	26-06-2022	85,3	19,3	2,2	28

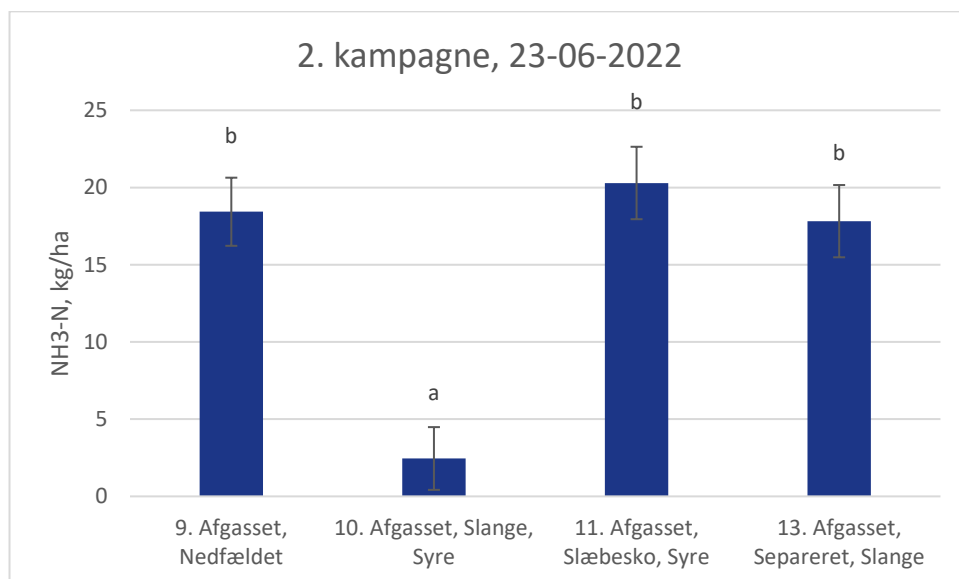
På trods af de forskellige vejrforhold ved de to tidspunkter, er den samlede udledning på samme niveau for begge kampanjer. Resultaterne er relative, dvs. de kan ikke opskaleres til at vurdere den samlede emission fra et areal, men udelukkede til sammenligning mellem led/behandlinger.

Led 9 er referencebehandlingen, som svarer til den nuværende lovgivning og led 10 repræsenterer ligeledes den nuværende lovgivning om højt syrekrav ved slangeudlægning. Led 11 afprøves som et supplement til nuværende lovgivning, og det samme gælder led 13.

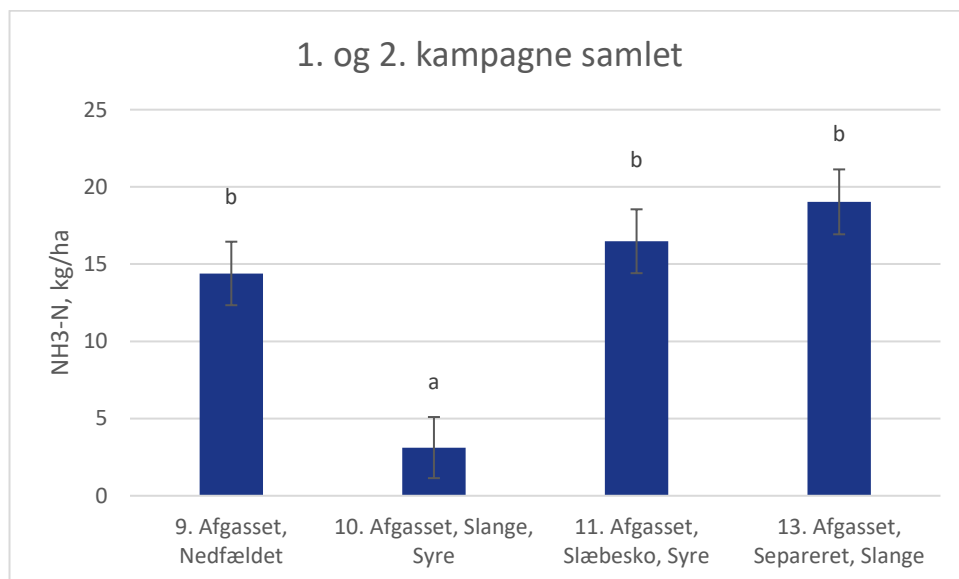
Der er generelt stor varians i data, som giver store standardafvigelser. Dog er den kumulative ammoniakemission for led 10, signifikant lavere i både 1. og 2. kampagne, sammenlignet med alle øvrige led. De tre øvrige led er på samme niveau ved begge kampanjer, dog er led 10 signifikant forskellig fra led 13 ved 1. kampagne (figur 2, 3 og 4).



Figur 2 Ammoniakemission fra de forskellige led ved 1. målekampagne, før 1. slæt.



Figur 3 Ammoniakemission fra de forskellige led ved 2. målekampagne, efter 2. slæt.



Figur 4 Ammoniakemission fra de forskellige led, samlet for 1. og 2. målekampagne.

5. Diskussion og konklusion

For led 9, 11 og 13 er emissionen på samme niveau ved begge tidspunkter, hvilket i dette forsøg indikerer, at de 3 udbringningsmetoder har samme effekt, dog ses der generelt nogen variation i data og det er vanskeligt at konkludere noget ud fra to målekampagner i et markforsøg et år. Kun led 10 adskiller sig ved at føre til signifikant lavere emission ved 1. kampagne og i den samlede opgørelse. Led 10, som blev tildelt den største syremængde jf. forsøgsplanen, førte til væsentlig sænkning af pH ned til 1,9 og 4,9 ved hhv. 1. og 2. målekampagne. For led 13 med afgasset separeret slangeudlagt gylle, hvor der lovmæssigt er et krav til tørstof% <3,6, er der målt 5,3% TS og 3,9% TS ved udbringning for hhv. 1. og 2. målekampagne. Højere tørstofindhold kan forårsage ringere evne til at infiltrere jorden og dermed føre til en højere emission end ved lavt tørstofindhold og er muligvis en af årsagerne til, at der ikke ses lavere emission fra led 13, som var forventningen.



6. Bilag

Tabel 5 Kumuleret ammoniakemission på parcelniveau fra 1. kampagne (05-04-2022).

Led	Behandling	Kanal	Gentagelse	Kumulativ emission [NH ₃ -N kg/ha]
9	Afgasset, Nedfældet	4	1	8,976818
		5	3	10,248859
		6	4	8,404400
10	Afgasset, Slange, Syre	7	1	5,299183
		8	3	3,731370
		9	4	0,486125
11	Afgasset, Slæbesko, Syre	10	1	18,351251
		11	3	6,885575
		12	4	8,798672
13	Afgasset, Separeret, Slange	1	1	16,611335
		2	3	24,130604
		3	4	12,053797
Reference	-	13	-	-

Tabel 6 Kumuleret ammoniakemission på parcelniveau fra 2. kampagne (23-06-2022).

Led	Behandling	Kanal	Gentagelse	Kumulativ emission [NH ₃ -N kg/ha]
9	Afgasset, Nedfældet	4	1	14,168966
		5	3	13,977802
		10	4	21,283495
10	Afgasset, Slange, Syre	2	1	4,531661
		7	3	0,894742
		11	4	0,457059
11	Afgasset, Slæbesko, Syre	3	1	12,891922
		8	3	20,476487
		12	4	20,754878
13	Afgasset, Separeret, Slange	1	1	16,075758
		6	3	15,206786
		9	4	14,786024
Reference	-	13	-	-

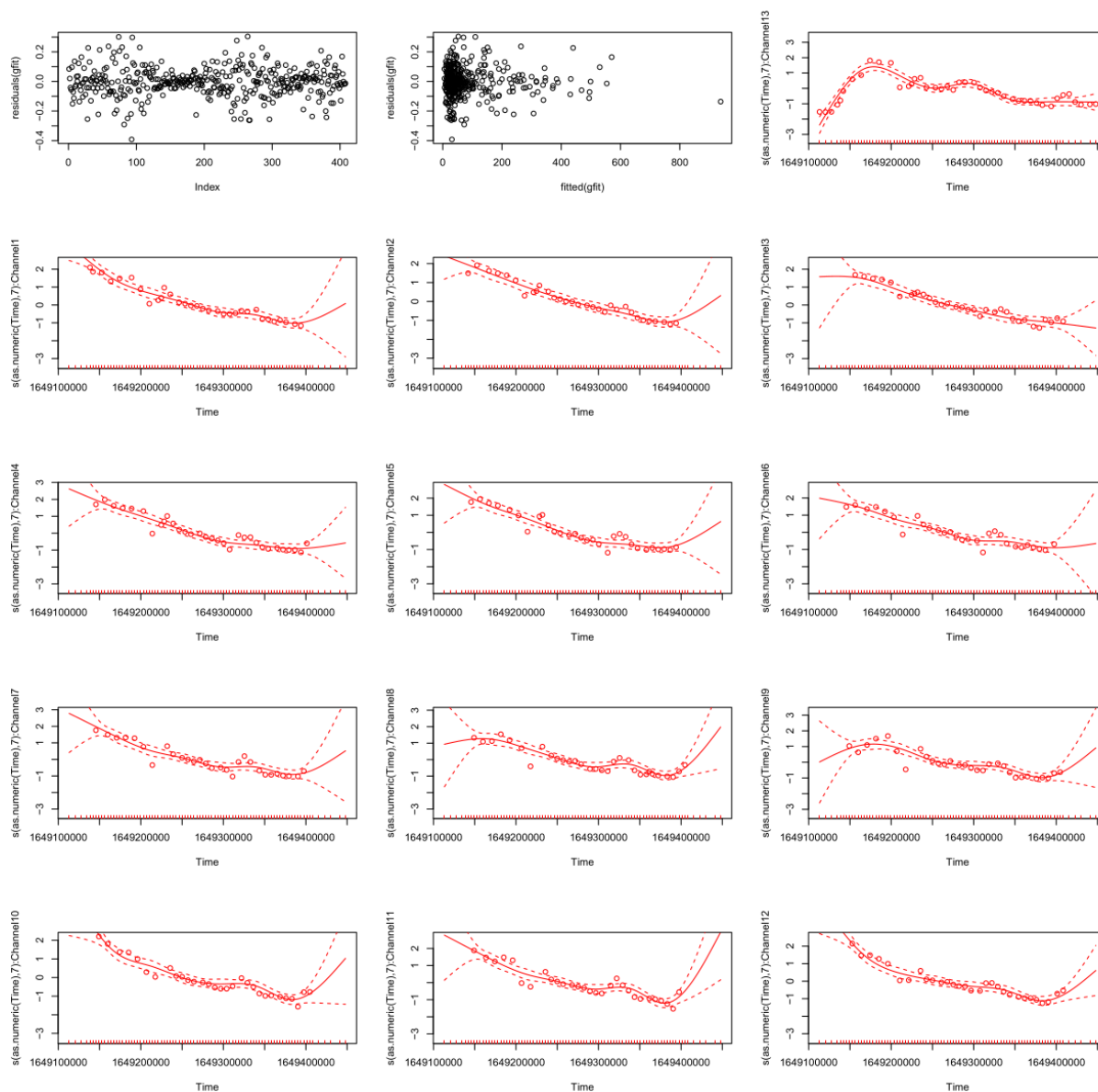


Tabel 7 Ammoniaktab ved forskellige udbringningsteknikker til slætgræs ved 1. kampagne 05-04-2022 i 3 døgn.

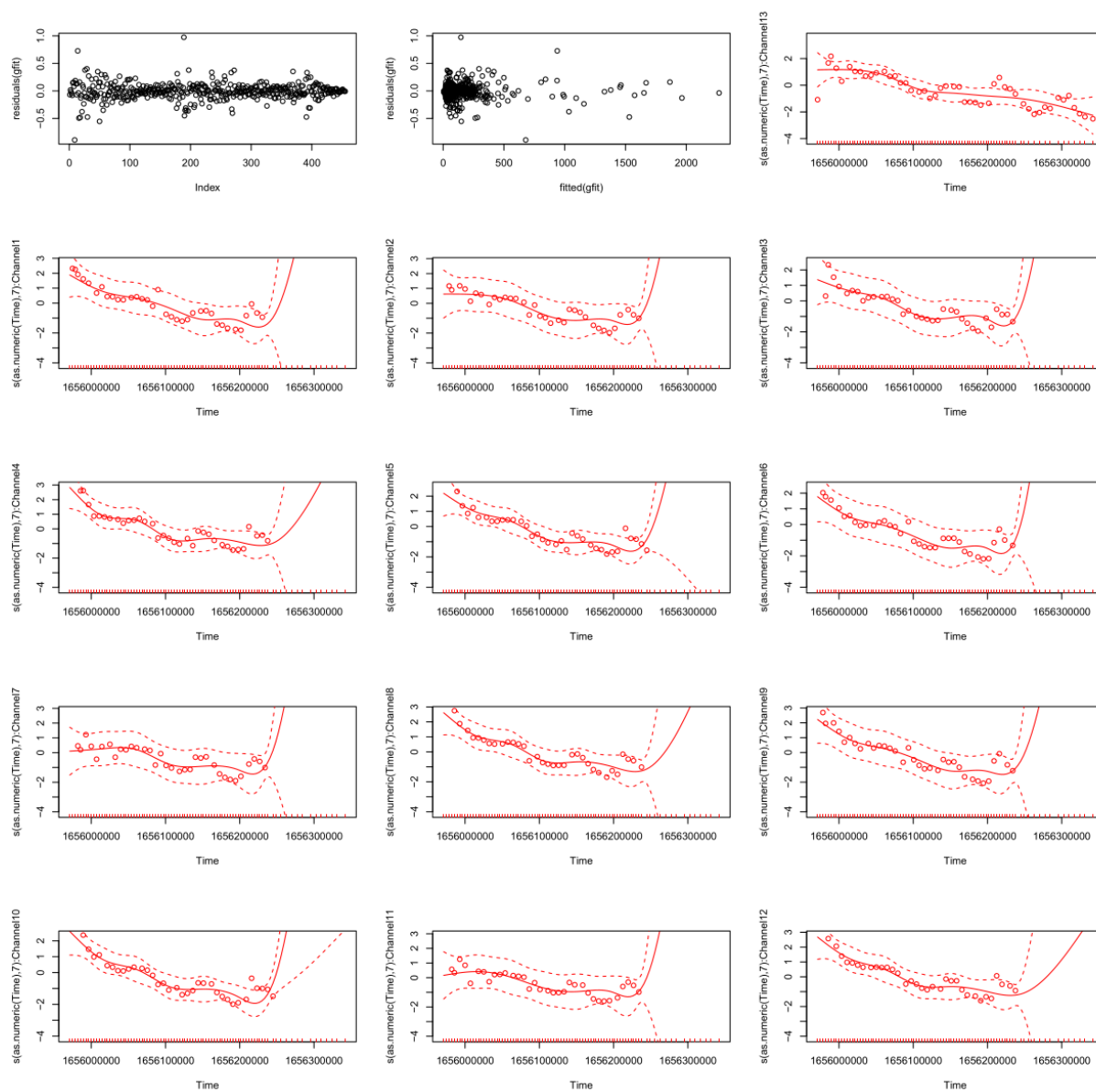
Led	% NH ₃ tab af udbragt gylle-N
9. Afgasset, Nedfældet	18
10. Afgasset, Slange, Syre	6
11. Afgasset, Slæbesko, Syre	22
13. Afgasset, Separeret, Slange	36

Tabel 8 Ammoniaktab ved forskellige udbringningsteknikker til slætgræs ved 2. kampagne 23-06-2022 i 3 døgn.

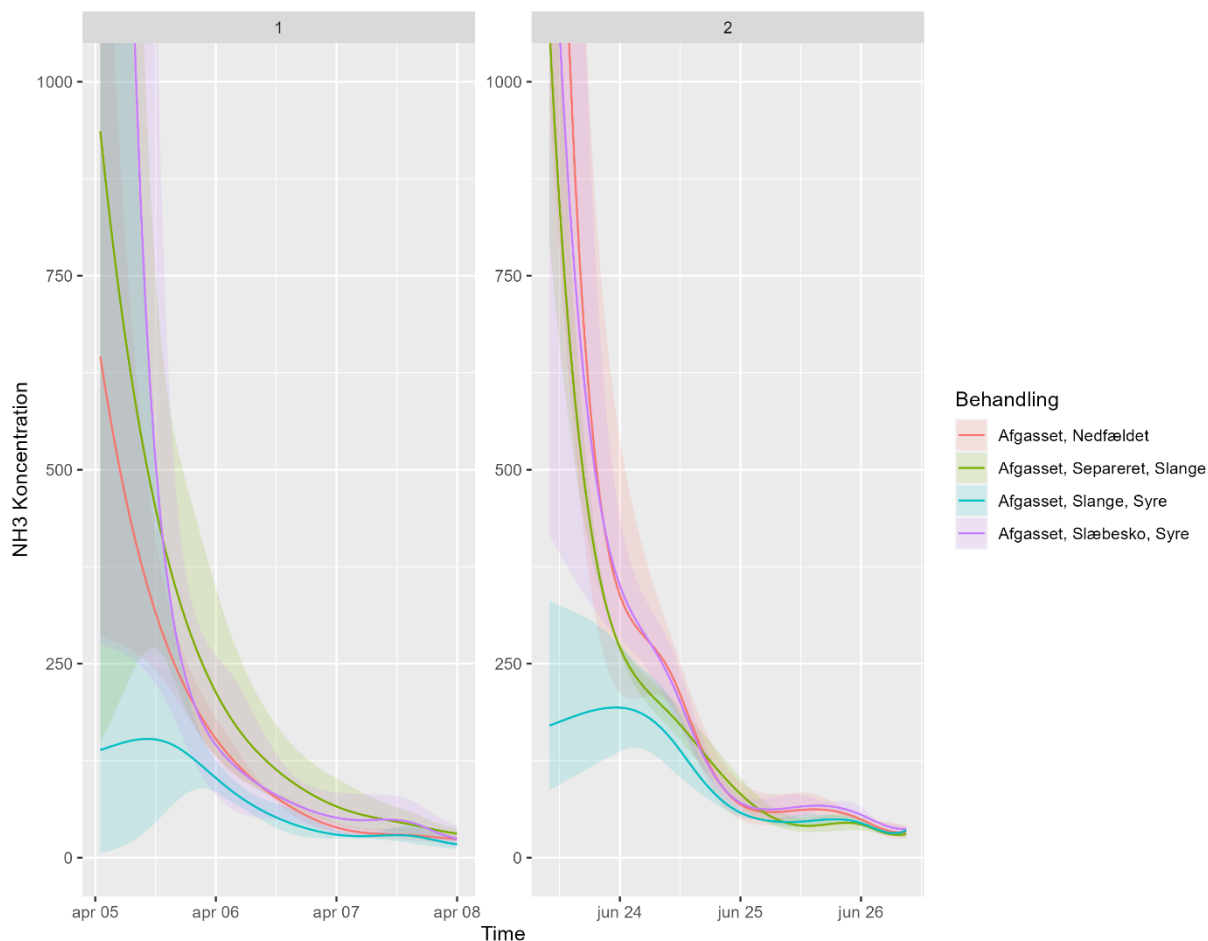
Led	% NH ₃ tab af udbragt gylle-N
9. Afgasset, Nedfældet	33
10. Afgasset, Slange, Syre	4
11. Afgasset, Slæbesko, Syre	36
13. Afgasset, Separeret, Slange	37



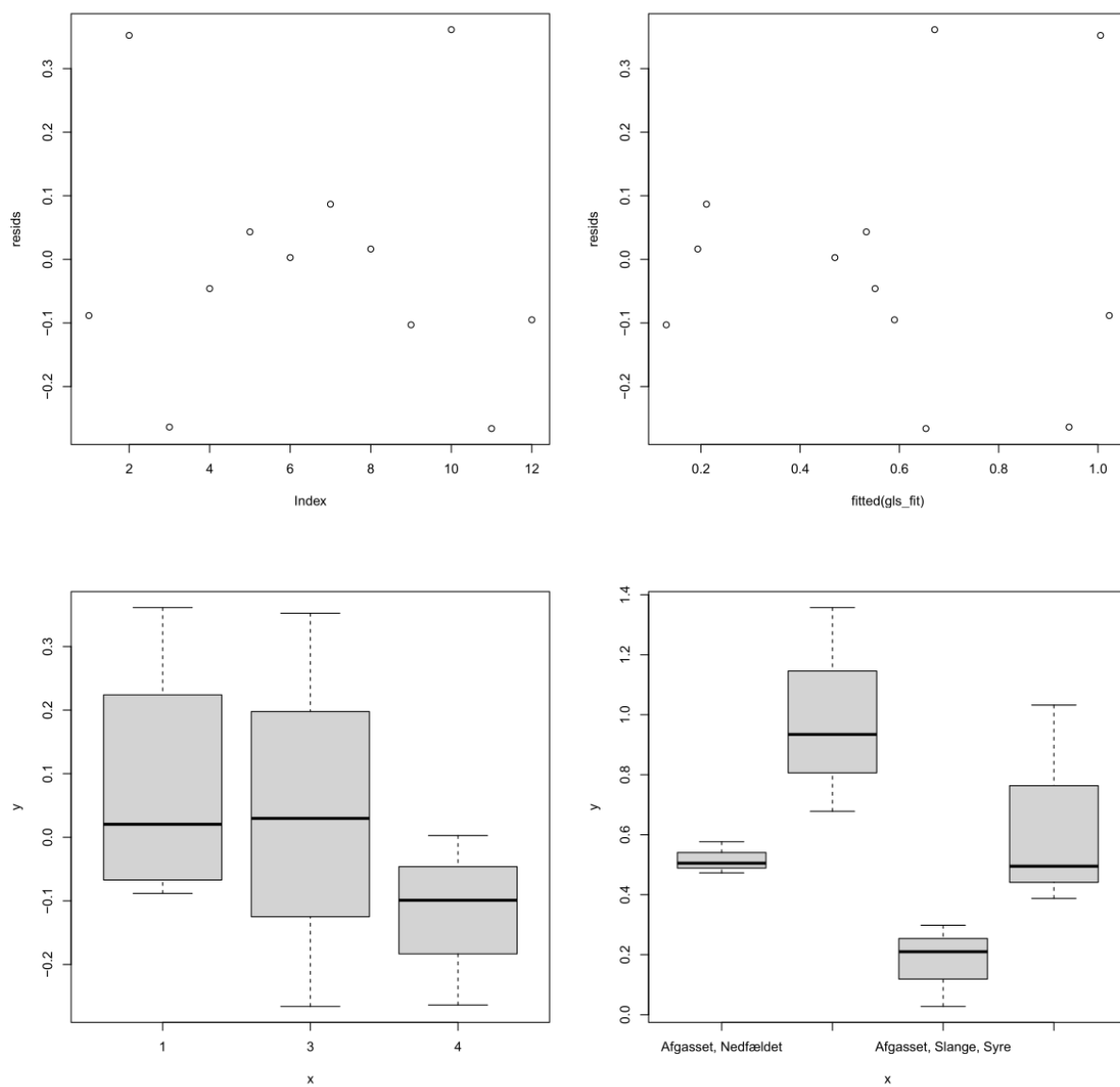
Figur 5 De kubiske splines for 1. kampagne. I hver af de 12 parceller samt på referencemålingerne blev der estimeret en kubisk spline på log-koncentrationerne. De to første plots viser residualerne efter disse kubiske splines er trukket fra observationerne. De viser, at residualernes varians afhænger lidt af plotordenen, men ellers er de jævnt fordelt over de fittede værdier.



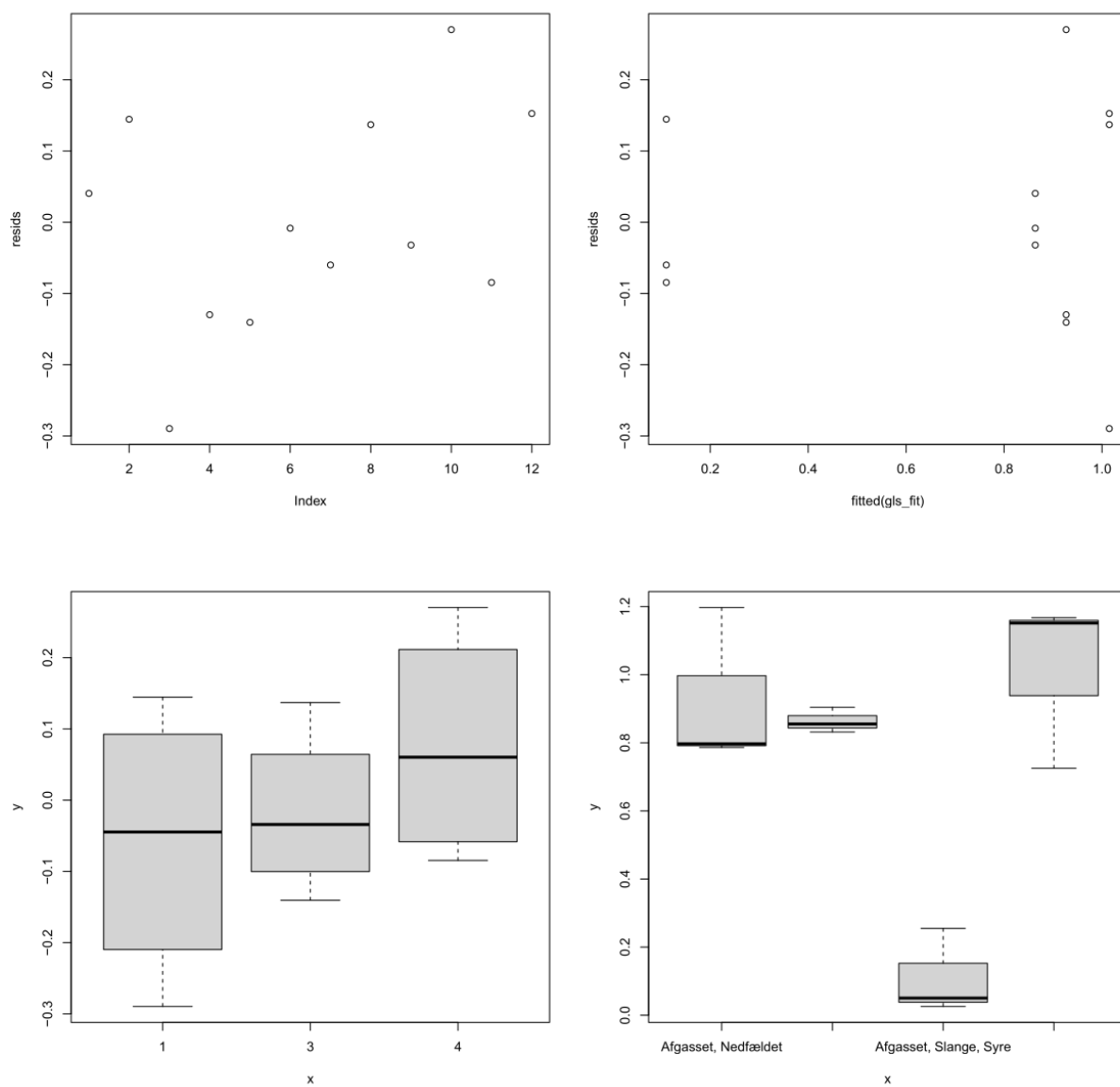
Figur 6 De kubiske spline for 2. kampagne. Se beskrivelsen til Figur 5.



Figur 7: Udjævnede NH₃ koncentrationer (ppb) over tid for de fire led. De farvede linjer angiver et punktvis konfidensinterval. Formen for led 10 (Afgasset, Slange, Syre) er anderledes fra de andre, fordi den ikke starter med en høj værdi. De tre øvrige led varierer ikke signifikant fra hinanden.



Figur 8: Modelkontrol for ANOVA-model for den første målekampagne. Der er ikke noget, som modsiger modellen.



Figur 9: Modelkontrol for ANOVA-model for anden kampagne. Der er ikke noget, som modsiger modellen.



TEKNOLOGISK
INSTITUT