

# Optimal aminosyrebalance til grise i vækst

Per Tybirk og Niels Morten Sloth

SEGES Innovation P/S

STØTTET AF

**Svine**afgiftsfonden

---

## Hovedkonklusion

Dette notat skal ses som en sammenfattende fortolkning af en række banebrydende forsøg med protein og aminosyrer til smågrise og slagtegrise udført ved SEGES Innovation.

'Omvendte' forsøg med stigende dosering af lysin ved konstant niveau af en anden aminosyre eller stigende dosering af flere frie aminosyrer ved konstant niveau af alle andre aminosyrer giver helt nye tolkninger af ideel aminosyrebalance i forhold til den traditionelle forsøgsopstilling med stigende niveau af den under-søgte aminosyre ved konstant niveau af lysin.

De nye resultater er indarbejdet i Normer for Næringsstoffer, hvor der tages hensyn til både den "biologisk optimale balance" og prisen på de enkelte frie aminosyrer såvel som prisen på ekstra protein fra de typisk anvendte råvarer til den aktuelle aldersgruppe af grise.

---

## Sammendrag

Den biologisk ideelle aminosyresammensætning kan defineres som følger: Alle essentielle aminosyrer er lige begrænsende for den aktuelle livsytring (vækst eller mælkeproduktion) og samtidig er niveauet af ikke-essentielle aminosyrer netop lige så begrænsende som summen af de essentielle aminosyrer. Sidstnævnte kan i praksis tolkes som, at niveauet af fordøjeligt protein er lige så begrænsende som niveauet af de essentielle aminosyrer.

### 1. Skift af metode

Gennem mange år har man forsøgt at finde denne optimale aminosyrebalance for grise i vækst ved en forsøgsmetodik, som systematisk har overvurderet behovet for andre aminosyrer i forhold til lysin. Det skyldes, at de fleste forsøg er gennemført med stigende dosis af den aktuelle aminosyre i forhold til lysin ved lavt proteinniveau og med lavt niveau af lysin. Det lave proteinniveau påvirker grisenes fordeling af aminosyrer på

kroppens fraktioner, så lysinindholdet i proteinaflejringen reduceres og samtidig maksimeres udnyttelsen af lysin, når lysin er meget begrænsende.

Omvendte forsøg, dvs. med stigende tildeling af lysin, hvor den anden undersøgte aminosyre (fx treonin eller leucin) er den begrænsende aminosyre, giver et estimat for den ideelle balance mellem to aminosyrer, som er 10-20 % mere lysin i forhold til den anden undersøgte aminosyre. Det er fx fundet i smågriseforsøg, at det optimale treonin:lysinforhold kan estimeres til ca. 63 % ved den traditionelle metode, men kun 53 % ved den omvendte metode. Den biologisk ideelle balance er sandsynligvis midt imellem, dvs. ca. 58 %, og normen er pt 62 %, fordi treonin er billigere end lysin.

## 2. Sammenspil mellem aminosyrer

En anden problemstilling er tolkning af afvigelse fra den ideelle balance, hvor det tidligere har været en slags underforstået hypotese, at hvis blot én aminosyre er på 90 % af behovet, så vil grisene reagere som om, at alle aminosyrer er på 90 % af behovet. Nyere forsøg har vist, at der er et forholdsvis langt interval, hvor grisene responderer moderat på såvel underskud som overskud af én essentiel aminosyre i forhold til den ideelle balance, hvis denne er defineret ud fra "biologisk" lige begrænsende. Det vil sige, at hvis to aminosyrer er de mest begrænsende og er lige begrænsende, så vil tilskud af den ene aminosyre give et positivt respons, mens tilskud af begge giver et større positivt respons.

## 3. Tilsatte frie aminosyrer kan omdannes til andre aminosyrer

Nyere forsøg har ligeledes vist, at øget tilskud af 4-5 frie aminosyrer til lavproteinføder til smågrise eller slagtegrise giver en positiv effekt på især foderforbruget pr. kg tilvækst ud over det niveau, som kan forklares af en bedre aminosyrebalance. Tolkningen af dette er, at de overskydende frie aminosyrer kan omdannes til ikke-essentielle aminosyrer, da niveauet af disse ofte kan være en begrænsende faktor i lavproteinføder til grise i vækst.

Mikrobiotaen (tidligere benævnt mikrofloraen) i grisens mave og forreste del af tyndtarmen kan desuden bruge de frie aminosyrer til at danne mikrobielt protein, som fordøjes længere nede i tyndtarmen. Dette kan medføre et tab af de tilsatte aminosyrer, men samtidigt kan det give et tilskud af både essentielle og ikke-essentielle aminosyrer, som mikrobiotaen har dannet ud fra de for mikrobiotaen lettilgængelige frie aminosyrer. Denne mikrobielle omsætning kan være en medvirkende årsag til positiv effekt af høje doser af frie aminosyrer, men den primære effekt er formentlig omdannelse af overskydende essentielle aminosyrer til manglende ikke-essentielle aminosyrer i grisens krop.

## 4. Normer er økonomisk optimal balance

I de danske normer for aminosyrer til vækstgrise tages hensyn til disse effekter af 'overdosering med de billigste frie aminosyrer', og målet med normerne er ikke den biologisk optimale balance, men derimod den økonomisk optimale balance, som tager hensyn til priserne på de enkelte aminosyrer, priserne på relevante proteinkilder, risikoen for diarré mm.

## Baggrund

Ønsket om at reducere kvælstofindhold i gødning og urin – og dermed ammoniakfordampningen – sammen med ønsket om at reducere antallet af behandlingskrævende diarréer hos smågrise har medført en række forsøg for at optimere udnyttelsen af foderets proteinindhold – især ved øget dosering af frie aminosyrer i forhold til international standard i kombination med lavproteinføder. Denne forsøgsrække har åbnet en række spørgsmål om, hvordan man skal tolke den ideelle aminosyrebalance. I det følgende gennemgås en række problematikker ved bestemmelse af den ideelle balance og ved tolkning af forsøg med ekstra dosering af aminosyrer i forhold til tidligere praksis.

## Essentielle og ikke-essentielle aminosyrer i grise, grisefoder og normer

Grisen har behov for ni essentielle aminosyrer, som den ikke kan danne selv i kroppen: lysin, methionin, treonin, tryptofan, leucin, isoleucin, valin, histidin og fenylalanin. Derudover kaldes aminosyrerne cystin og tyrosin 'semiessentielle', da de kan dannes ud fra methionin henholdsvis fenylalanin, hvis der er overskud af disse. Denne omdannelse er dog ikke så effektiv, at grisene helt kan undvære cystin og tyrosin uden, at det går ud over væksten. Det diskuteres også, om arginin er semiessentielt, da foder helt uden arginin vil give reduceret vækst, fordi omdannelsen af andre aminosyrer til arginin ikke er effektiv nok til helt at undvære arginin. I normalt grisefoder vil der dog sandsynligvis være nok arginin ligesom der vil være nok cystin, hvis summen af methionin og cystin lever op til normen, og nok tyrosin, hvis summen af fenylalanin og tyrosin lever op til normen.

Ikke-essentielle aminosyrer kan kroppen danne selv, når blot der er byggesten nok foderet i form af andre aminosyrer og simple organiske molekyler (som sukkerarter og fedtsyrer). I praksis vil en stor del af de ikke-essentielle aminosyrer være til stede i foderet, men kroppen kan danne de manglende ikke-essentielle aminosyrer ud fra overskud af andre aminosyrer. Grisene kan faktisk også bruge absorberet ammoniak som kilde til at danne ikke-essentielle aminosyrer, hvilket betyder, at protein, der nedbrydes i tyktarmen, kan bidrage til dannelsen af ikke-essentielle aminosyrer, mens mange forsøg har demonstreret, at der ikke absorberes intakte aminosyrer fra tyktarmen, hvorfor der ikke kan hentes essentielle aminosyrer via absorberet protein (N) fra tyktarmen.

I lavproteinfoder vil udnyttelsen af ikke-essentielle aminosyrer kunne blive meget høj, da det er muligt at flytte rundt på kvælstoffet, så aminosyresammensætningen passer til behovet. For essentielle aminosyrer er potentialet for udnyttelsen generelt lavere, fordi de ikke kan gendannes, hvis de først er blevet nedbrudt.

Forsøgene viser dog, at der kan være en høj udnyttelse af den mest begrænsende essentielle aminosyre, hvilket kunne tyde på, at kroppen har en eller anden mekanisme, som kan reducere nedbrydningen af de mest begrænsende essentielle aminosyrer.

I grisekroppen er der ca. 38-40 g essentielle aminosyrer (ekskl. arginin) og tæt på 60 g ikke-essentielle aminosyrer (inkl. arginin) pr. 100 g råprotein (16 g N) [kilde 1,2,4,5 & 6, tabel 2 og 3]. I Normer for Næringsstoffer udgør de fordøjelige essentielle aminosyrer ca. 46 g pr. 100 g fordøjeligt råprotein i smågrisefoder og ca. 39 g pr. 100 g fordøjeligt råprotein i slagtegrisefoder, hvilket indikerer, at også ikke-essentielle aminosyrer (tyndtarmsfordøjeligt protein) kan være begrænsende, især i smågrisefoder.

I foder til husdyr er 100 g råprotein definitionsmæssigt lig med 16 g N, dvs. at råprotein er lig med  $N \times 6,25$ , som er en gennemsnitlig faktor på tværs af mange fodermidler. Man skal dog være opmærksom på, at kun 80-85 % af de 16 g N stammer fra aminosyre-N og at 100 g 'renprotein' (= aminosyrer i kæder af peptidbindinger) ved hydrolyse til frie aminosyrer bliver til ca. 115 g aminosyrer, fordi der adderes vand til peptidbindinger, når disse spaltes. Altså bliver ca. 85 g renprotein pr. 100 g råprotein i en gris til ca. 100 g aminosyrer, når peptidbinderne spaltes ved den kemiske analyse. De sidste 15-20 % af kvælstoffet i 'råprotein' vil være 'Non Protein Nitrogen' ('NPN'), dvs. andre kvælstofforbindelser end aminosyrer. Samme problematik findes for råprotein i foderet, hvor andel aminosyre-N af total-N kan variere fra 75 til 85 %. Afhængig af den kemiske forbindelse kan 1 g N give anledning til varierende gram 'stof'. Faktoren 6,25 mellem N og råprotein betyder blot, at der ofte er tæt på 100 g aminosyrer (= 85 g renprotein) pr. 100 g råprotein, men samtidig er der altså et ukendt antal gram 'stof' knyttet til NPN. Som et kuriosum kan nævnes, at visse proteinrige fodermidler (fx blodmel og fiskemel) rent analyseteknisk har negativt indhold af nitrogenfrie ekstraktstoffer (NFE), fordi kvælstofforbindelserne, herunder proteinet, ikke vejer helt lige så meget som  $N \times 6,25$ .

Det betyder, at 100 g råprotein i en gris typisk indeholder ca. 85 g 'renprotein' og ca.  $15/6,25 = 2,4$  g N, som er bundet i NPN, som ikke nødvendigvis lige vejer 15 g. Nukleinsyrer fra cellekerner (DNA og RNA) er en betydelig del af NPN, men kvælstof indgår i en række forbindelser, som ikke er aminosyrer. 100 g råprotein i foder er definitionsmæssigt lig med 16 g N, og det betyder så, at der i både foder og grise typisk er 13-14 g N bundet i aminosyrer, mens 2-3 g N pr. 16 g N findes i andre kemiske forbindelser. Sagt på en anden måde: når foderet indeholder 100 g fordøjeligt protein, vil grisene fordøje ca. 40 g essentielle aminosyrer, ca. 60 g ikke-essentielle aminosyrer og 2-3 g N i andre kvælstofholdige forbindelser, som måske vejer ca. 10-15 g.

Sidstnævnte andre kvælstofholdige forbindelser kan enten genbruges direkte af grisen eller de kan ombygges til ikke-essentielle aminosyrer, som i kroppen kan indlejres i protein eller fx bruges til at bygge nukleinsyrer.

Det skal dog bemærkes, at der ved beregning af proteinindhold ved afregning af brødhvede bruges faktoren 5,7 i stedet for den generelle faktor på 6,25, som er en vedtaget gennemsnitsfaktor for foderprotein. Dette skaber af og til lidt forvirring, når landmænd får analyseret hvede med NIT, da man her skal omregne brødhvedeprotein angivet som protein i tørstof til foderprotein i tørstof med faktoren  $6,25/5,7$ . Skal man have foderprotein i varen, skal der herefter ganges med tørstofandelen, fx 0,85.

## Opsummering

- Grisen har behov for essentielle aminosyrer, mens ikke-essentielle kan dannes ud fra overskud af aminosyrer og kvælstof.
- Ikke-essentielle aminosyrer (fordøjeligt protein) kan være begrænsende, især i lavproteinfoder og i smågrisefoder.
- Råprotein består ikke kun af aminosyrer: 15-20 % af kvælstoffet er NPN, hvilket er vigtigt ved tolkning af proteinindhold.

## Aminosyrer i grisens krop afhængig af genetik, alder og proteinforsyning

Hovedparten af aminosyrebehovet går til at dække vækst af kroppen. Hertil kommer det såkaldte endogene tab, som er de fordøjelsessekreter og tarmmucosa, som tabes ved at fordøje foderet, se senere afsnit. Aminosyrer indgår også i alle kroppens enzymer og i kroppens forsvar mod infektioner samt i en række andre fysiologiske funktioner.

Desuden bruges kvælstof fra aminosyrer til at lave nukleinsyrer, dvs. til DNA og RNA, som indgår i alle celler. Nukleinsyrer kræver dog ikke essentielle aminosyrer, da de kan syntetiseres ud fra glycin, glutamin og asparaginsyre, som alle tre er ikke-essentielle. Det er uklart, om tilskud af nukleinsyrer vil være en fordel for tarmmucosaen, der har en høj rate af celledeling og derfor skal bruge mange nukleinsyrer til DNA og RNA-syntese.

Kroppens protein er fordelt på muskler, knogler, indre organer, hud (spæk og svær), blod og en lille smule i hår/børster. Ændringer i disse fraktioners andel af kroppens sammensætning gennem vækstperioden betyder, at kroppens aminosyresammensætning ændres lidt gennem vækstperioden. De forskellige kropsfraktioner har også forskellige omsætningshastigheder, fx vil proteinet i indre organer omsættes hurtigere end proteinet i knogler, hvilket medfører et større vedligeholdelsesbehov for aminosyrer til indre organer end til knogler.

Det har ikke været muligt at finde data for proteinets fordeling ved nutidig genetik, men der er gennemført en række forsøg før 1988 på Statens Husdyrbrugsforsøg, hvor man har bestemt både proteinets fordeling på kropsfraktioner og aminosyresammensætningen i de enkelte kropsdele. Dette er publiceret i Meddelelse nr.

560 fra Statens Husdyrbrugsforsøg (SH) (1984) [1], som viser gennemsnitligt indhold i forsøg i perioden 1975-1984 og i SH Meddelelse nr. 701 fra 1988 [2], som viser indholdet i et forsøg gennemført i 1987.

Resultaterne fra disse forsøg fremgår af tabel 1-3.

**Tabel 1.** Proteinets fordeling på kroppens fraktioner for grise på ca. 20 og ca. 90 kg levende vægt. Meddelelse nr. 560, 1984 [1] og 701, 1988 [2].

	1976-1984	1987/88	1976-1984	1987/88
Vægt på grisene, kg	19,5	(20)	88,9	(90)
Protein i kød, % af kroppens protein	42,8	48,2	53,7	57,8
Protein i knogler, %	25,1	23,4	17,5	16,6
Protein i spæk og svær, %	13,2	11,2	13,7	11,6
Protein i indvolde, %	13,3	12,4	9,5	8,9
Protein i blod, %	5,1	(5,1)*	4,9	4,7
Protein i børster, %	0,4	(0)*	0,7	0,6
I alt	99,9	100,3	100,0	100,2
Protein i hele grisen, % af tom gris, dvs. uden mavetarmindehold	17,3	17,2***	18,0, 17,2, 18,1**	18,0***

\* Er ikke angivet for 20 kg's grise – beregnet som hele grisen minus de andre fraktioner og sat under blod.

\*\* For sogrise, galte og ornegrise.

\*\*\* Kun sogrise i Meddelelse nr. 701.

Det fremgår af tabel 1, at proteinets fordeling på kroppens fraktioner påvirkes både af den genetiske udvikling (1976-84 vs. 1987/88) og af grisens vægt. Bemærk, at kun 43-48 % af proteinet i en smågris var aflejret i kødet og kun 54-58 % var aflejret i kødet ved 90 kg. Knoglerne indeholdt den næststørste del af proteinet. Det betyder, at man skal være opmærksom på, at proteinaflejring går til meget andet end til kød.

Den genetiske udvikling betyder, at en større og større andel af kroppen er kød og at proteinindholdet pr. kg gris stiger. Omkring år 2000 fandt man, at proteinindholdet pr. kg tomvægt for grise fra 25 til 115 kg varierede fra 19,2 til 19,6 % af tomvægten [3].

I tabel 2 er vist indholdet af essentielle aminosyrer i protein i de forskellige fraktioner af kroppen i undersøgelsen fra 1988 [2]. Der er dog ikke analyseret indhold af tryptofan.

I tabel 3 er der vist forskellige målinger af aminosyresammensætningen i hele grisekroppe og nederst er summen af essentielle aminosyrer pr. 100 g protein beregnet. Her fremgår det, at summen af essentielle aminosyrer udgør ca. 40 g pr. 100 g råprotein (16 g N).

**Tabel 2.** Aminosyresammensætning af kroppens dele ved ca. 20 og ca. 90 kg for grise fra 1987/88 [2].

	Tom gris	Børster	Blod	Indvolde	Kød	Spæk+svær	Knogler	Aflejret
% af kroppens protein *	100	0,6	4,7	8,9	57,8	11,6	16,6	
Aminosyre i procent af protein, dvs. gram aminosyre pr. 16 g N								
Vægt, kg	20 90	20 90	20 90	20 90	20 90	20 90	20 90	20-90 kg
Lysin	6,6 6,8	3,3	8,5	6,3 6,5	7,4 7,8	4,9 4,8	5,7 4,7	6,9
Methionin	1,9 1,9	0,4	0,7	2,0 1,9	2,3 2,4	1,1 1,3	1,6 1,0	1,9
Cystin	1,2 1,0	13,0	1,2	1,2 1,3	1,1 1,0	1,3 1,0	2,0 0,7	1,0
Treonin	3,7 3,8	5,9	3,5	3,9 4,1	4,1 4,3	2,7 2,7	3,4 2,6	3,8
Isoleucin	3,7 3,8	3,5	1,2	4,0 4,3	4,4 4,8	2,5 2,4	3,2 2,4	4,0
Leucin	7,1 7,5	7,7	13,4	7,9 8,9	7,3 8,0	5,1 4,8	6,2 5,2	7,7
Valin	5,1 5,0	6,0	9,1	5,6 6,4	5,0 5,2	3,9 3,6	4,5 3,8	5,1
Fenylalanin	3,8 3,6	2,3	6,4	4,2 3,9	3,7 3,8	3,0 2,8	3,5 2,8	3,7
Tyrosin	2,7 2,8	3,2	1,6	3,0 3,0	3,1 3,3	2,0 1,8	2,5 1,8	2,8
histidin	2,7 3,1	1,1	6,7	2,3 2,4	2,9 3,7	1,6 1,4	2,0 1,6	3,2

\* Ved 90 kg.

**Tabel 3.** Aminosyrer i procent af protein i grisekroppe.

Kilde	SH Medd. 701 1988 [2]	Mahan*** 1998 [4]	Milgen & Dourmad, 2015 [5]	Hulshof et al, 2017 [6], Flere proteinniveauer i foderet	Bikker et al, 1999 [7]	
Angivet i	Tilvækst 20-90 kg	Som gns. af hele kroppe målt ved 10 vægte fra 1,5 til 146 kg	Tilvækst	Grise 40 kg med protein i kroppen på henholdsvis 17 %* 14,4 %**	Tilvækst 20-45 kg	Krop 45 kg
Lysin	6,9	7,3	6,96	6,94 6,40	7,07	6,64
Methionin	1,9	1,8	1,88	1,95 1,88	2,22	2,11
Cystin	1,0	1,3	1,03	0,99 0,97	0,84	0,89
Treonin	3,8	3,9	3,70	3,80 3,63	3,72	3,62
Isoleucin	4,0	3,7	3,46	3,64 3,48	3,60	3,45
Leucin	7,7	7,5	7,17	7,15 6,89	6,61	6,52
Valin	5,1	5,0	4,67	4,74 4,57	4,44	4,37
Fenylalanin	3,7	4,0	3,78	3,97 3,82	3,45	3,44
Tyrosin	2,8	3,2	2,86	2,84 2,73	2,48	2,47
Histidin	3,2	3,6	2,79	2,90 2,78	3,00	2,80
Tryptofan		1,1	0,95	0,98 0,91		
I alt****	(40,1)	42,4	39,3	39,9 38,1	(37,4)	(36,3)

\* Gennemsnit for de to grupper, hvor grisene fik mest protein (stadig ikke nok til maksimal vækst).

\*\* Eksempel på underforsyning med proteins effekt på aminosyrer i kroppen.

\*\*\* Her er vist egne tal fra en meget stor undersøgelse med analyser af hele kroppe fra 6-9 grise ved vægt på 1,6, 8,5, 21,3, 37,1, 55,8, 75,8, 90,1, 106,8, 127,4 og 146,0 kg. I dette review kan man også finde ni ældre (1986-1994) undersøgelser med tal for hele kroppe ved varierende vægte.

\*\*\*\* Tal i parentes er ekskl. Tryptofan, ville øges ca. 1 g, hvis tryptofan var analyseret.

Af tabel 1-3 fremgår, at aminosyresammensætningen er forskellig i de forskellige dele af kroppen. Da de forskellige kropsdeles andele af det totale proteinindhold i kroppen påvirkes af både grisenes vægt og fodring, herunder især proteinforsyningen, så vil aminosyreprofilen i det aflejrede protein ændres både med vægt og med ændret genetik og er afhængig af proteinforsyningen i forhold til behov til maksimal vækst.

Det vil i praksis betyde, at den ideelle aminosyrebalance i foderet ændres lidt med grisenes vægt og med de genetiske fremskridt i kødindhold – og at det faktisk er et problem at bestemme den ideelle balance ved underskud af lysin. Det skyldes, at dette underskud vil mindske kroppens aflejring af lysin i procent af protein, fordi kroppen (vurderet ud fra den ændrede aminosyresammensætning ved underforsyning [6]) tilsyneladende prioriterer indre organer, knogler og hud (svær) før kødaflejring, når der er underskud af aminosyrer i forhold til behovet. Derfor vil forsøg med behov for flere andre aminosyrer i procent af lysin ved lavt lysinindhold i foderet overestimere behovet for disse, da grisenes ideelle aflejring ved lavt proteinniveau prioriterer knogler og indre organer over kød (se også senere om omvendte forsøg, som er en ekstra problemstilling ved forsøgsdesign).

Forsøg vedrørende ideel aminosyrebalance bør derfor udføres ved proteinniveau tæt på grisenes behov (eller det praktisk relevante, som ud fra økonomi, miljø og diarré er lidt under det niveau, som sikrer maksimal vækst) og med den aktuelle genetik og vægtgruppe, som anbefalingerne skal bruges til.

## Opsummering

- Aminosyresammensætningen varierer mellem kroppens væv og ændres med grisens vægt, genetik og proteinforsyning, fordi vævene har forskellig proteinsammensætning og omsætningshastighed.
- Ved underskud af lysin prioriteres indre organer, knogler og hud frem for kød, hvilket kan føre til overestimering af behov for andre aminosyrer i procent af lysin ved forsøg udført ved lavt protein- og lysinniveau, fordi grisen laver mindre kød og derfor kan udnytte mindre lysin.

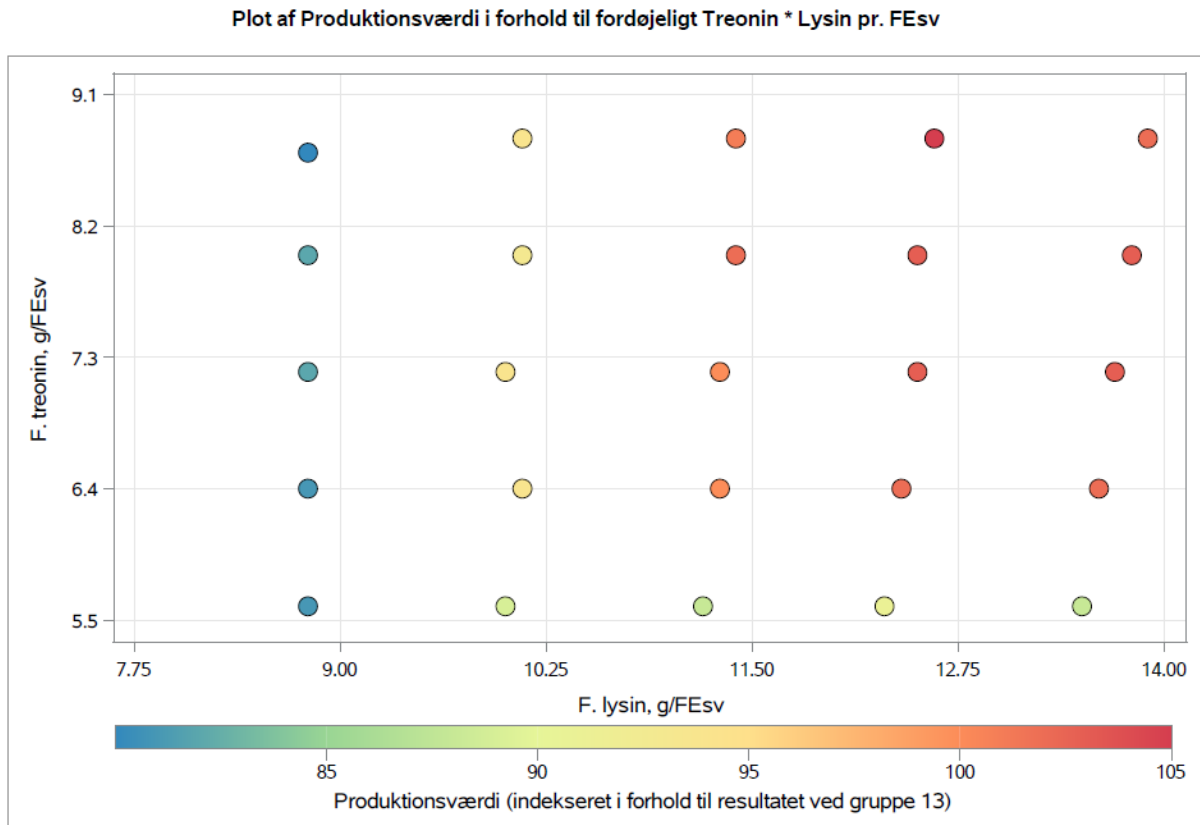
## Omvendt forsøgsopstilling og metodens betydning for aminosyrebalance

Bestemmelsen af den ideelle aminosyrebalance afhænger i høj grad af den anvendte forsøgsmetode. Langt de fleste forsøg er gennemført med lysin som den mest begrænsende aminosyre og ofte ved lave lysinniveauer i forhold til grisenes behov for at sikre, at lysin har været tydeligt begrænsende. I sådanne forsøg undersøges typisk effekten af stigende tildeling af en anden aminosyre, fx treonin eller leucin, til smågrisefoderblandinger med omkring 10 g fordøjeligt lysin pr. kg, hvorved det kan fastlægges, ved hvilket niveau den pågældende aminosyre ikke længere begrænser udnyttelsen af lysin.

I det omvendte forsøgsdesign undersøges i stedet effekten af stigende tildeling af lysin ved konstant niveau af en anden begrænsende aminosyre, fx ved fast indhold af treonin eller leucin. Herved kan det estimeres, hvilket lysinniveau der giver maksimal respons, når en anden aminosyre er den begrænsende. Når begge forsøgsopstillinger anvendes i samme forsøg, er det muligt både at estimere de enkelte optima og sætte behovene for fx lysin og treonin i forhold til hinanden ved maksimal vækst. I det følgende gennemgås resultater fra forsøg, hvor begge tilgange er anvendt.

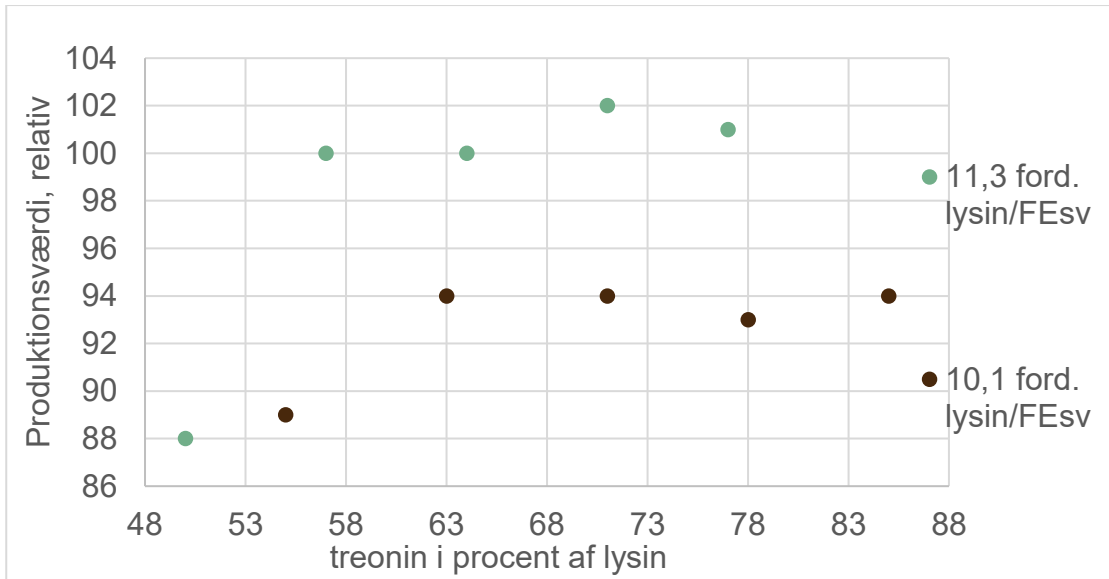
## Forsøg 1: Fem treoninniveauer og fem lysinniveauer i foder til smågrise (Medd. nr. 1272, [8])

I Meddelelse nr. 1272 [8] er der testet fem niveauer af treonin mod fem niveauer af lysin, hvorved der er en test ved både 'normal' og 'omvendt' forsøgsopstilling, se figur 1. I figur 1 repræsenterer lodrette søjler den normale metode, mens vandrette rækker er den omvendte metode.

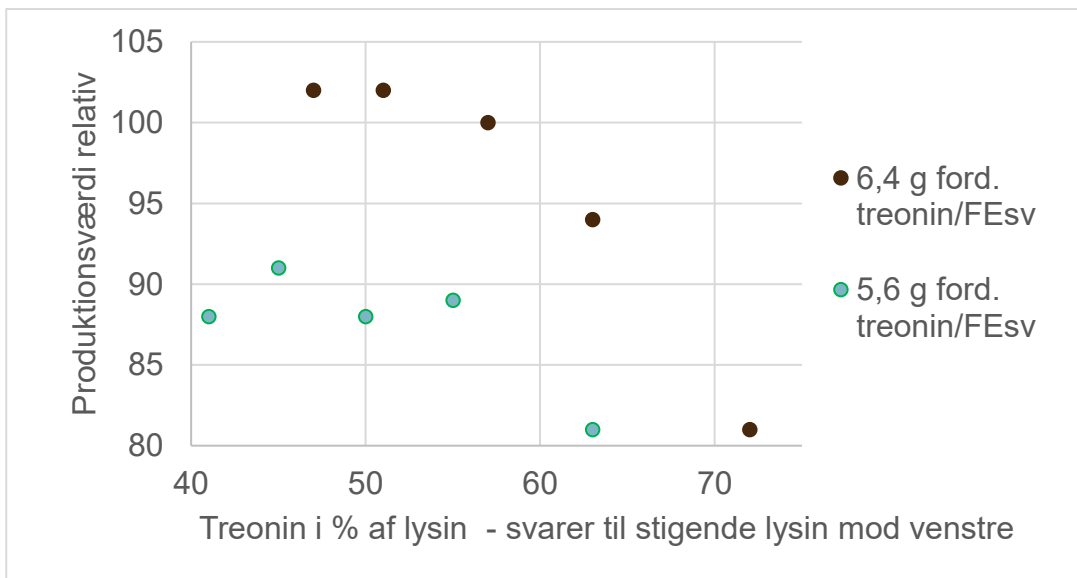


**Figur 1.** Forsøgsdesign med analyserede værdier og produktionsværdi angivet som farve.

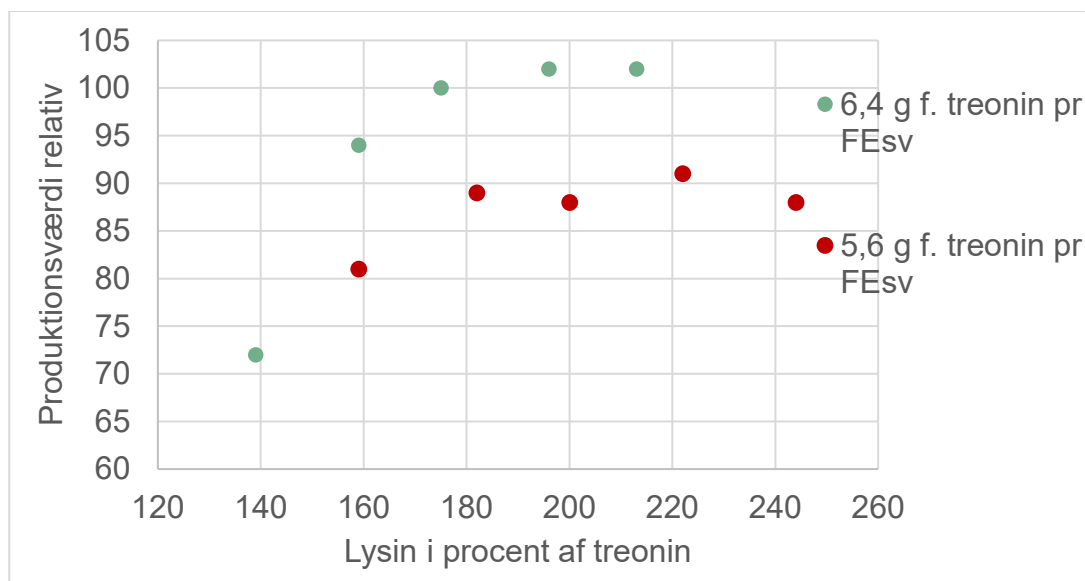
I figur 2, 3 og 3a ses tolkning af optimal balance ved henholdsvis normal metode i figur 2 og omvendt metode i figur 3 og 3a, hvor figur 3 og 3a viser samme resultat, blot med to forskellige x-akser.



**Figur 2.** Effekt af stigende treonin ved to niveauer af lysin, normal forsøgsmetode.



**Figur 3.** Effekt af stigende lysin ved to niveauer af treonin, omvendt forsøgsmetode.



**Figur 3a.** Effekt af stigende lysin ved to niveauer af treonin, omvendt forsøgsmetode.

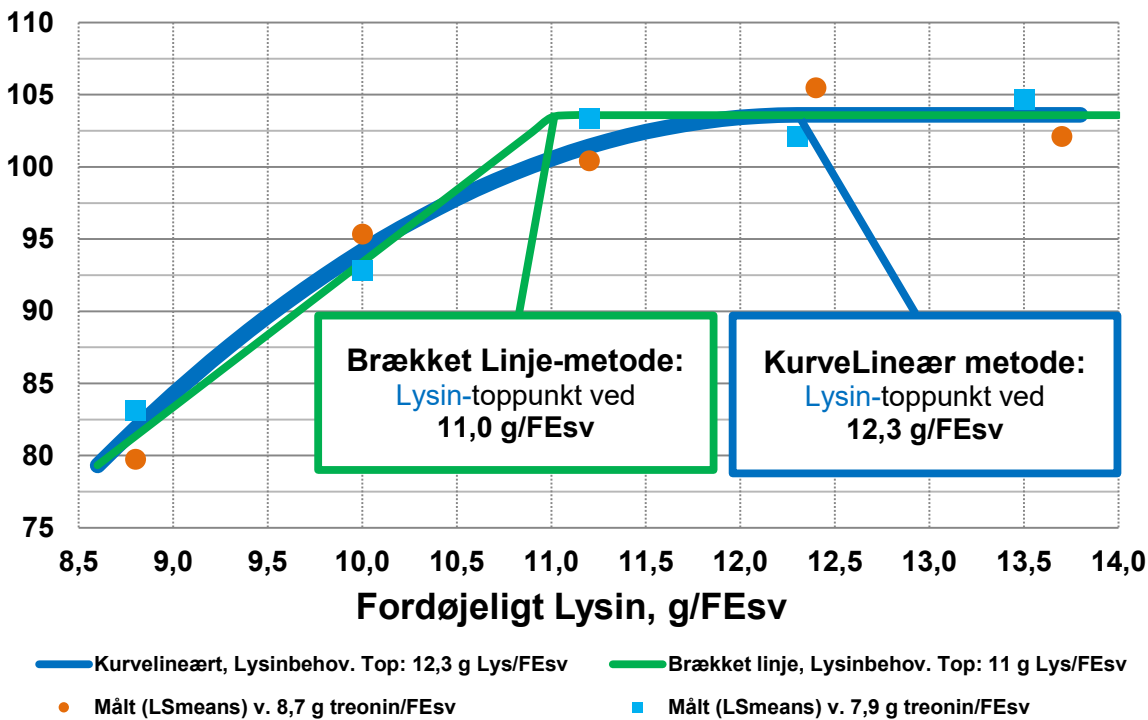
Meddelelse nr. 1272 [8] indeholder en grundig analyse af forskellige modeller, hvor essensen er, at den normale metode estimerer treoninbehovet til 62-63 % af lysin, når lysin er den begrænsende aminosyre, se figur 2. I den omvendte forsøgsopstilling estimeres den optimale balance til at være 52-53 % af lysin ved de to begrænsende niveauer af treonin vist i figur 3 og 3a. I Meddelelse nr. 1272 [8] estimeres også toppunkter for respons på lysin og treonin, hvor toppunktsanalysen for lysin er vist i figur 4, hvor behovet estimeres til 11,0 g ford. lysin pr. FEsv med brækket linje metode og til 12,3 g ford. lysin med kurvelineær-plateaumetode. På samme måde estimeres behovet for treonin til 6,5 g pr. FEsv med brækket linje og til 6,9 g pr. FEsv med kurvelineær-plateaumetoder. Ud fra de to metoder til at estimere behovet for de to aminosyrer i samme forsøg, kan den optimale balance estimeres til  $6,5/11,0 \times 100 \% = 59 \%$  med brækket linje model og til  $6,9/12,3 \times 100 \% = 56 \%$  med kurvelineær-plateaumodel.

De temmelig forskellige estimater kan tolkes på følgende måde:

1. Når treonin er 62-63 % af lysin, er treonin ikke begrænsende for maksimal udnyttelse af lysin.
2. Når treonin er 52-53 % af lysin, som svarer til, at lysin er ca. 190 % af treonin, så er lysin ikke begrænsende for maksimal udnyttelse af treonin.
3. Ved treonin:lysinforhold på ca. 58 % er begge aminosyrer lige begrænsende, hvilket betyder, at tilskud af kun den ene aminosyre marginalt vil forbedre produktiviteten, mens tilskud af begge aminosyrer i samme forhold vil være det biologisk set mest effektive.

I praksis kan priserne på de enkelte aminosyrer også spille ind på den økonomisk optimale balance, og det er således billigere at øge treoninnormen med fx 5 % end at øge lysinnormen med 5 %. Det skyldes dels, at 5 % forøgelse af normen er billigere for treonin, og dels at alle andre normer er bundet op som procent af lysin, hvilket i praksis betyder, at forøgelse af lysinnormen vil medføre en forøgelse af alle normer, hvilket er dyrt (se også afsluttende afsnit).

## Produktionsværdi (PV), % af PV i gruppe 13



Figur 4. Analyse af produktionsværdi for stigende indhold af lysin med brækket linje metode eller kurvelineær metode.

## Omvendt metode til estimering af behov for leucin, isoleucin og histidin

Meddelelse nr. 1272 [8] kan faktisk også bruges som en indirekte metode til at estimere behovet for de næst begrænsende aminosyrer. Ved det laveste niveau af lysin og treonin, var der 149 g fordøjeligt råprotein pr. FEsv og dette steg til 157 g fordøjeligt råprotein ved det højeste niveau af treonin og lysin pga. kvælstofbidraget fra de to aminosyrer. Proteinniveauet betød, at andre aminosyrer end lysin og treonin har været begrænsende ved de højeste niveauer af treonin og lysin. Forsøget kan derfor faktisk ikke udtale sig om behovet for lysin og treonin til maksimal vækst, men er derimod velegnet til at finde det optimale forhold mellem lysin og treonin.

Fordi niveauet af isoleucin, leucin og histidin har været begrænsende ved de højeste niveauer af lysin, er forsøget også indirekte en test af omvendt forsøgsopstilling på behovet for disse aminosyrer i forhold til lysin. I alle blandinger brugt i ovennævnte forsøg var niveauet af ford. leucin (10,7 g/FEsv), ford. isoleucin (5,9 g/FEsv) og ford. histidin (3,4 g/FEsv) konstant. I forhold til de to metoder til at estimere lysinbehovet, kan man indirekte udlede følgende for nødvendigt indhold af disse aminosyrer i forhold til lysin:

	Brækket linje	KurveLineær
Leucin 10,7 i forhold til 11,0 og 12,3	97 %	87 %
Isoleucin 5,9 i forhold til 11,0 og 12,3	54 %	48 %
Histidin 3,4 i forhold til 11,0 og 12,3	31 %	28 %

Tolkningen af dette er, at når lysinniveauet bliver så højt, at de tre ovennævnte aminosyrer kommer under niveauerne under "KurveLineær", så er én af disse tre - eller alle tre aminosyrer - begrænsende for at kunne udnytte mere lysin. Man kan også sige, at lysinniveauet er højt nok til maksimal udnyttelse af de næst

begrænsende aminosyrer. Det skal her nævnes, at alle forsøgsblandinger var tilsat så meget methionin og valin, at disse to aminosyrer næppe var begrænsende.

Forsøget kan ikke afklare, hvilken af de tre aminosyrer, der var mest begrænsende. Det mest sandsynlige er nok, at alle tre aminosyrer var begrænsende for at få respons af de højeste lysinniveauer, ligesom måske også niveauet af fordøjeligt råprotein kan have været en begrænsende faktor. Det vil sige, at niveauet for ikke-essentielle aminosyrer kan have været begrænsende for at udnytte de højeste niveauer af lysin og treonin.

## Omvendte forsøg med fire eller fem frie aminosyrer i 'overdosering'

I SEGES Innovation er der gennemført fire forsøg med stigende dosering af fire eller fem frie aminosyrer, så disse aminosyrer overdoseres i forhold til det gældende normsæt på forsøgstidspunktet. Sagt på en anden måde: de 4-5 frie aminosyrer overdoseres i forhold til den idealproteinprofil, som blev anvendt indtil 2018, se tabel 4.

**Tabel 4.** Aminosyreprofil og fordøjeligt råprotein pr. 10 g fordøjeligt lysin i normsæt fra 2018, som var udgangspunkt for de følgende forsøg, sammenlignet med normsæt fra 2024.

	Smågrise			Ung- og slagtegrise 2018		Ung- og slagtegrise 2024	
	2018	2024 <15 kg	2024 >15 kg	> 8,4 lysin	<8,4 lysin	2024 >8,6 lysin	2024 <=8,6 lysin
Methionin	32	32	32	30	30	30-31	30
Met+cys	54	54	54	56-58	58-61	55-58	58-61
Treonin	61	62	62	63-65	66-67	63-64	65-67
Tryptofan	21	23	21	20	20	20	20
Valin	67	62	63-64	67	67	64	64
Isoleucin*	53	46	48	53	53	53	53
Leucin*	100	86	90	100	100	100	100
Histidin*	32	28	29	32	32	32	32
Fenylalanin*	54	54	54	54	54	54	54
Fen + tyrosin*	100	95	95	100	100	100	100
Ford. protein pr. 10 g ford. lysin	143 134*	117-120	123-125	147-149	149-156	132-144	145-148

\*Der var en speciel anbefaling ved diarré til hele smågriseperioden med reduceret protein, men samme aminosyreprofil som normalt smågrisefoder.

Det fremgår af tabel 4, at de nedenstående forsøg har medført markante ændringer i normsættet, især for smågrisefoder.

Der er to smågrise og to slagtegrise-forsøg; i det følgende medtages dog kun de to smågrise-forsøg (Medd. nr. 1244 [9] og Medd. nr. 1263 [10]) og det nyeste slagtegrise-forsøg (Medd. nr. 1262, [12]), som var væsentlig mere omfattende end det indledende slagtegrise-forsøg (Medd. nr. 1134, [11]).

Når man tolker forsøgene med god effekt af 'overdosering/ekstradosering' af frie aminosyrer, er der flere elementer, som kan forklare den positive effekt, selv om andre begrænsende aminosyrer holdes på konstant niveau (leucin, isoleucin, histidin og fenylalanin og i det første smågrise-forsøg også valin):

1. Når niveauet af tilsatte essentielle aminosyrer øges, vil udnyttelsen af de mest begrænsende aminosyrer (leucin, isoleucin og histidin) kunne øges – på samme måde som, at udnyttelsen af treonin er

- maksimal, når lysin var over 190 % af treonin eller, at udnyttelsen af lysin var maksimal, når treonin var over 63 % af lysin (figur 2 og 3a).
2. Når niveauet af 4-5 aminosyrer øges, vil overskud af disse aminosyrer kunne bruges til at danne ikke-essentielle aminosyrer i kroppen.
  3. Det er muligt, at betydelige mængder frie aminosyrer i tarmen kan bruges af mikrobiotaen (tidligere benævnt mikrofloraen) til at lave mikrobielt protein i mave og duodenum, og at noget af dette mikrobielle protein kan fordøjes senere i tyndtarmen og dermed bidrage med andre essentielle aminosyrer som leucin, isoleucin og histidin (se senere afsnit om mikrobiotaens betydning).
  4. Hvis mikrobiotaen nedbryder en del af de frie aminosyrer, vil grisene have gavn af et ekstra tilskud for at opnå den ideelle balance i det absorberede protein. Dette kan være en faktor i slagtegriseforsøg, men formentlig med minimal betydning i smågriseforsøget med fire proteinniveauer [10], fordi foderet her var tilsat benzoesyre og calciumformiat. Både benzoesyre og myresyre kan stort set stoppe fermentering af frie aminosyrer i vådfoderanlæg [13, 14] og det må forventes, at kombinationen af 1 % calciumformiat og 0,5 % benzoesyre har minimeret fermenteringen af frie aminosyrer i smågrisenes mavesæk i Meddelelse nr. 1263 [10].
  5. Et opfølgende forsøg på designet i Meddelelse nr. 1263 [10], gennemført på AU Foulum [21], viste, at ekstradosering af de fem frie aminosyrer fremmer væksten af mælkesyreproducerende mikroorganismer, som dermed "favoriserer konkurrenceforholdet" mellem disse i forhold til diarréfremkaldende colibakterier. Dette kan være en medvirkende forklaring på den 50-60 % reduktion af diarréforekomst, der blev fundet ved ekstradosering af de fem aminosyrer ved både lavt og højt proteinniveau i Meddelelse nr. 1263 [10].

## Forsøg 2: Seks aminosyreniveauer ved to proteinniveauer i foder til smågrise (Medd. nr. 1244) [9]

Dette forsøg blev gennemført i en normal produktionsbesætning og omfattede ca. 32.000 grise. Der var 42-45 dobbeltstier med ca. 55 grise i hver af de 12 forsøgsbehandlinger og forsøgsdesign og analyserede niveauer af aminosyrer i de 12 forsøgsgrupper er vist i tabel 5.

**Tabel 5.** Opnåede produktionsresultater og analyserede tilhørende protein- og aminosyreniveau i 12 forsøgsgrupper (Medd. nr. 1244, [9]).

Gruppe	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ford. protein, g/FEsv	123-131						140-147					
Ford. lysin, g/FEsv	8,3	8,8	9,4	10,0	10,6	11,2	9,4	10,0	10,7	11,3	12,0	12,7
Ford. methionin, g/FEsv	2,7	2,9	3,2	3,5	3,8	4,1	3,1	3,4	3,7	4,0	4,4	4,7
Ford. met+cys, g/FEsv	4,6	4,9	5,2	5,5	5,8	6,0	5,2	5,5	5,8	6,1	6,5	6,8
Ford. treonin, g/FEsv	5,1	5,4	5,8	6,1	6,4	6,8	5,9	6,3	6,7	7,0	7,4	7,8
Fod. tryptofan, g/FEsv	1,85	1,92	1,99	2,06	2,13	2,20	2,19	2,27	2,36	2,45	2,53	2,62
Ford. isoleucin, g/FEsv	4,8						5,6					
Ford. leucin, g/FEsv	8,9						10,2					
Ford. histidin, g/FEsv	2,9						3,3					
Ford. fenyylalanin, g/FEsv	6,0						6,9					
Ford. fen.+tyr, g/FEsv	10,6						12,1					
Ford. valin, g/FEsv	6,0						6,9					
Lysin, % af leucin	92	99	105	112	118	125	92	98	105	111	118	124
Leucin, % af lysin (norm=100 %)	108	101	95	89	84	80	109	102	96	90	85	81
Indgangsvægt, kg	7,0	6,9	7,0	7,3	7,1	7,3	7,1	7,1	6,9	7,3	7,0	6,9
Afgangsvægt, kg	25,1	26,3	27,4	28,1	27,8	27,8	27,7	28,8	28,8	29,4	28,9	28,9
FEsv pr. dag	0,92	0,95	0,97	0,98	0,97	0,95	0,97	0,99	0,99	0,98	0,97	0,97
Daglig tilvækst, g	506	542	570	581	578	573	576	606	611	618	611	614
FEsv pr. kg tilvækst	1,82	1,75	1,70	1,68	1,67	1,66	1,69	1,63	1,61	1,59	1,58	1,57
Produktionsværdi, indeks*	89	100	109	112	113	113	111	121	124	127	127	128
DB, indeks**	92	100	106	107	106	104	99	106	107	108	106	105

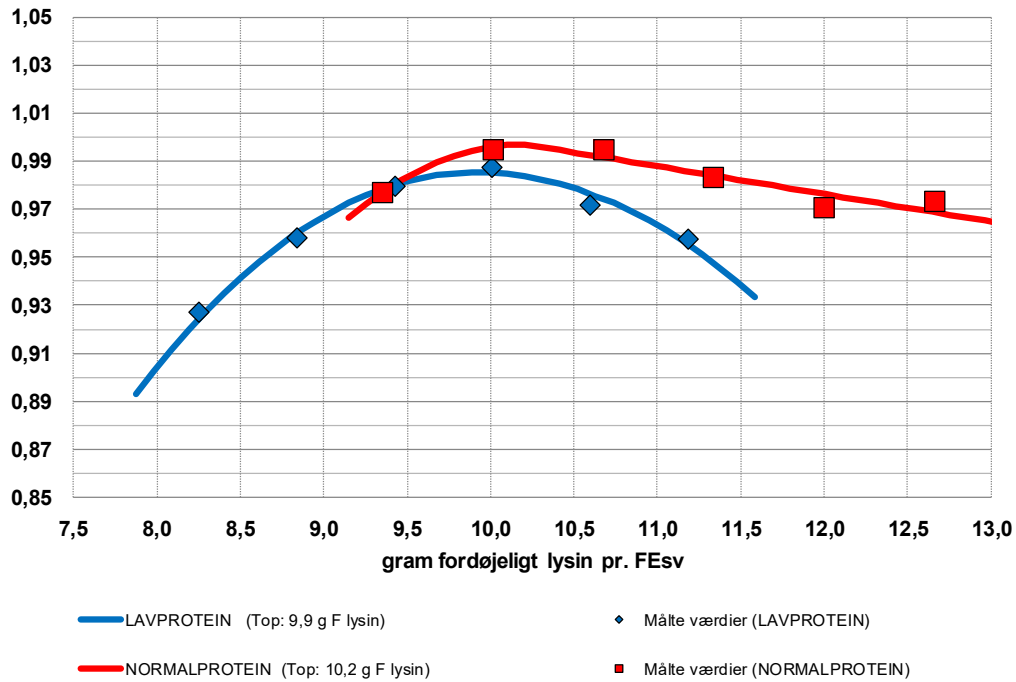
\* Sammenvejret værdi af tilvækst og foderudnyttelse ved samme foderpris for alle blandinger sat i forhold til gruppe 2, som er 100.

\*\* Dækningsbidrag indeks med foderpriser anno 2021 i forhold til gruppe 2.

Resultaterne fra tabel 5 er desuden vist på figur 5-7.

FESv pr. dag

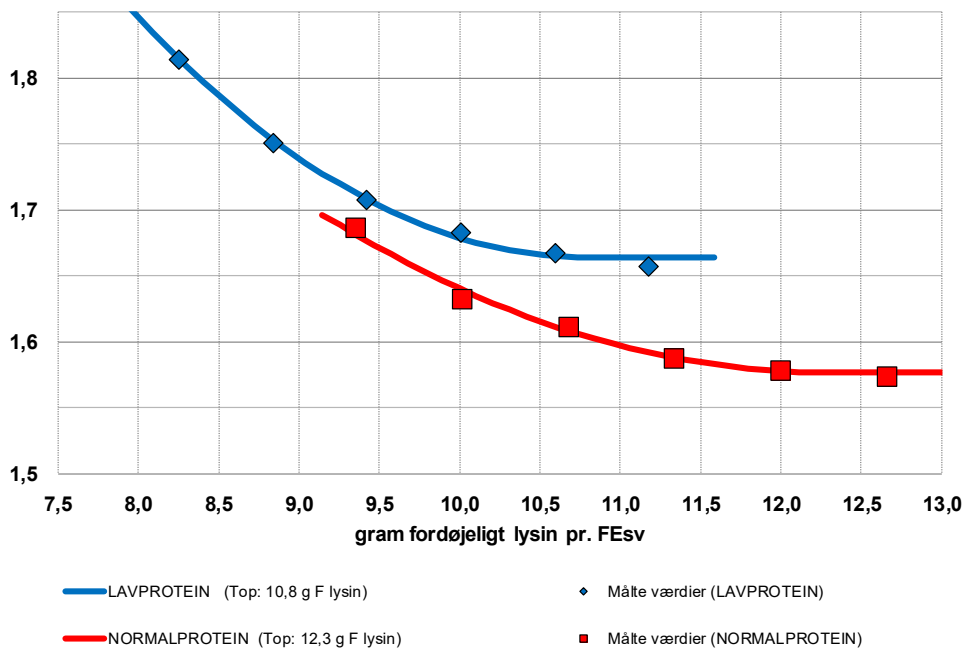
### Foderoptagelse, FESv pr. dag, fra 7 til 28 kg afhængigt af Lavt eller Højt proteinniveau



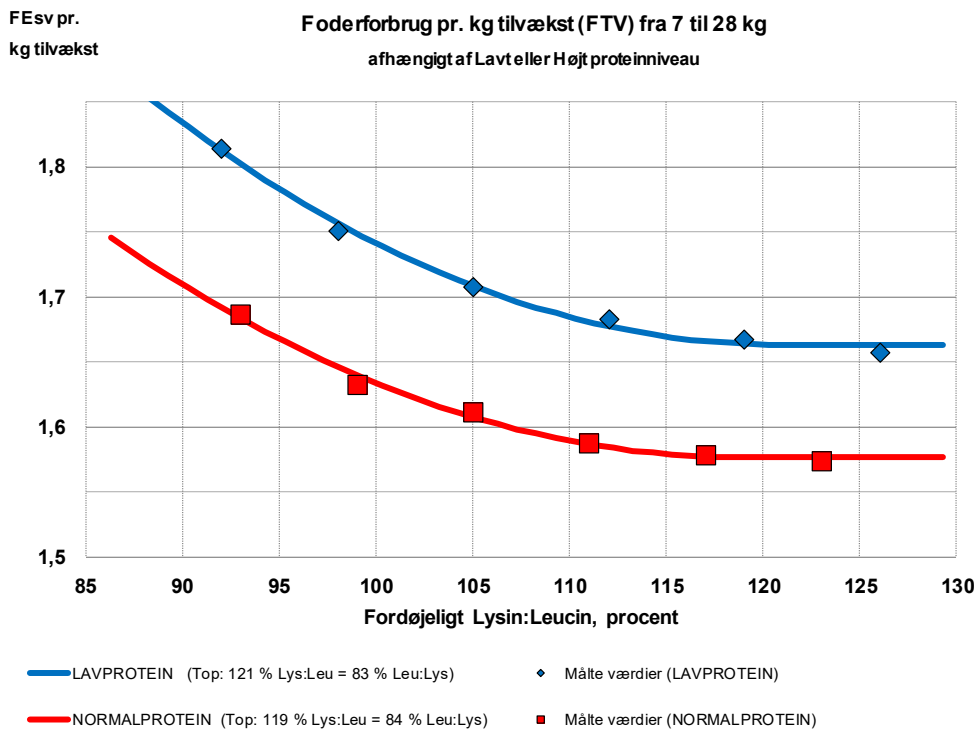
Figur 5. Daglig foderoptagelse som funktion af protein- og aminosyredosis, repræsenteret af fordøjeligt lysin i g pr. FESv (Medd. nr. 1244, [9]).

FESv pr.  
kg tilvækst

### Foderforbrug pr. kg tilvækst (FTV) fra 7 til 28 kg afhængigt af Lavt eller Højt proteinniveau

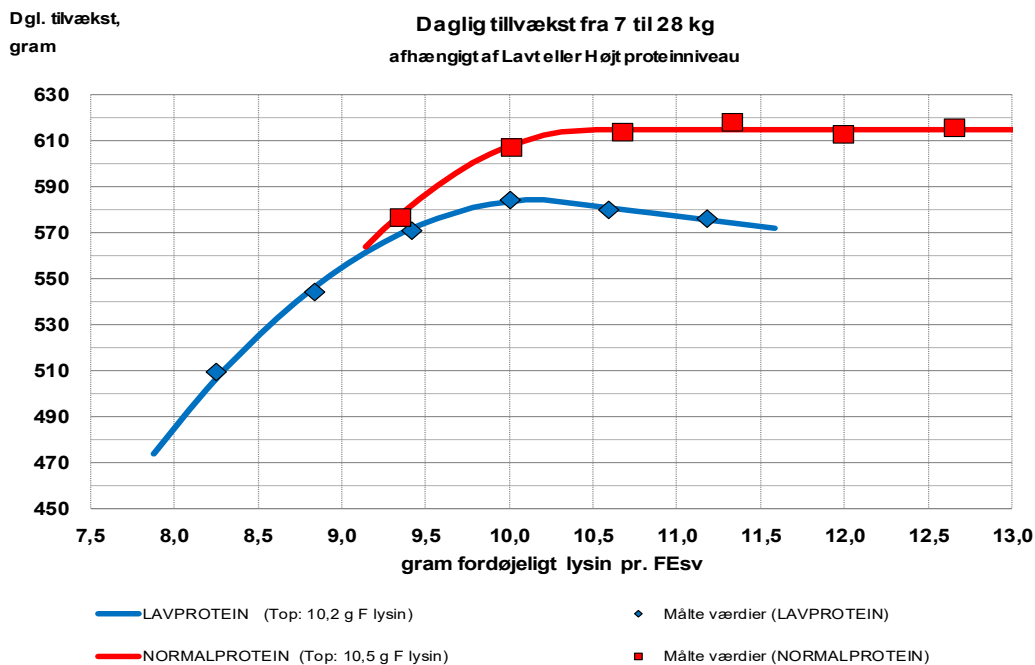


Figur 6a. Foderforbrug pr. kg tilvækst som funktion af aminosyredosis, repræsenteret af fordøjeligt lysin i g pr. FESv.



**Figur 6b.** Foderforbrug pr. kg tilvækst som funktion af tilsat aminosyreosis i forhold til proteinniveauet, repræsenteret som forholdet mellem fordøjeligt lysin i procent af fordøjeligt leucin. Normen for dette forhold var 100 % inden dette forsøg, men bedste foderudnyttelse blev opnået ved 119-121 % fordøjeligt lysin:leucin.

Konsekvensen af foderoptagelse og den opnåede foderudnyttelse kan ses på tilvækst i figur 7.



**Figur 7.** Daglig tilvækst som funktion af aminosyreosis, repræsenteret af fordøjeligt lysin i gram pr. FEsv.

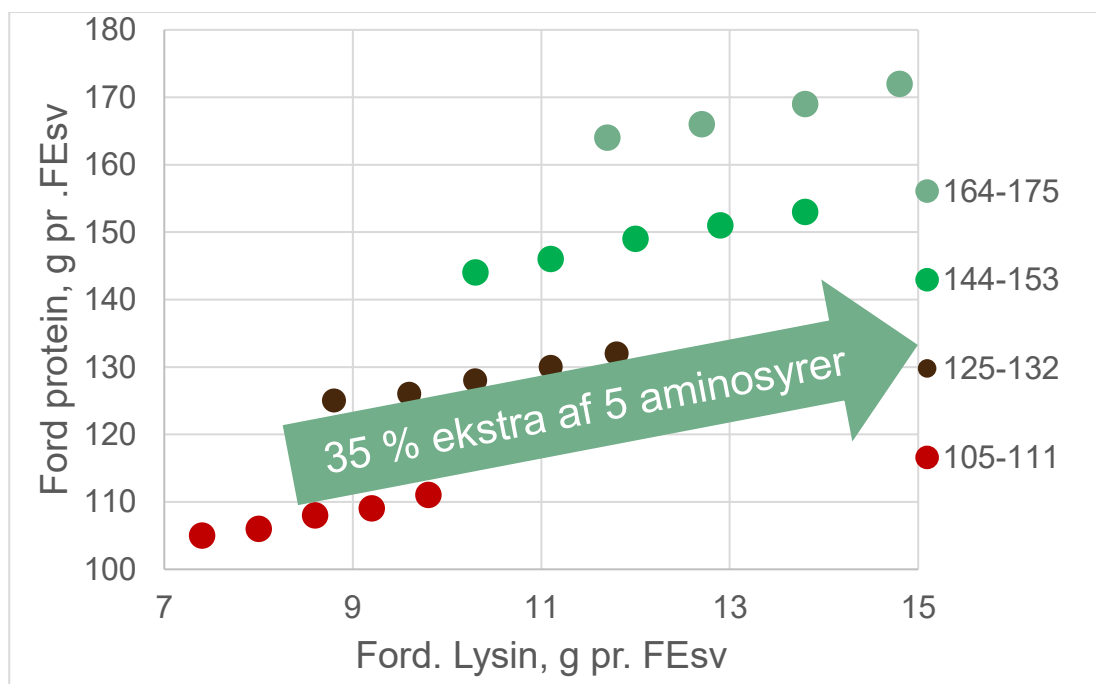
Overordnet viser dette forsøg, at grise responderer positivt på at tilføre fire krystallinske (frie) aminosyrer i høj dosering, selv om de ekstra frie aminosyrer er overdoseret i forhold til den hidtil anvendte optimale aminosyrebalance i normerne. Kurverne er mest stejle, mens lysin er under den oprindelige balance i normsættet fra 2018 (100 lysin/100 leucin), og ses der på respons på foderforbrug pr. kg tilvækst, er der positiv effekt helt op til de højeste doser, men dog mest tydeligt indtil lysin udgør ca. 110 % af leucin. Da de højeste doser af frie aminosyrer sænker foderoptagelsen, opnås et toppunkt for daglig tilvækst ved 10,2-10,5 g ford. lysin ved de to anvendte proteinniveauer. Den primære parameter, produktionsværdi (beregnet med samme foderpris i alle grupper), nåede maksimum ved 10,3 og 11,4 g fordøjeligt lysin pr. FEsv ved henholdsvis lavt og normalt proteinniveau. Se definitionen på produktionsværdi og dækningsbidrag sidst i dette notat.

Dette forsøg blev fulgt op med et nyt forsøg med fire niveauer af protein kombineret med fem niveauer af frie aminosyrer. I det forsøg blev der også tilsat valin.

### Forsøg 3: Fem aminosyreniveauer ved fire proteinniveauer i foder til smågrise (Medd. nr. 1263, [10])

I dette forsøg var der fire udgangsniveauer af protein og aminosyrer, hvor aminosyrebalancen i udgangspunktet var meget tæt på de tidligere aminosyrenormer fra 2018, som stort set var lig med den internationalt anvendte idealproteinprofil. I modsætning til forsøget ovenfor var der ingen forsøgsgrupper, hvor niveauet af frie aminosyrer var lavere end den såkaldte 100 % profil, svarende til normer indtil 2018. Til hvert udgangspunkt blev der tilsat lysin, methionin, treonin, tryptofan og valin i samme balance som i normsættet, men doseringen af disse frie aminosyrer blev forøget med op til ca. 35 % i forhold til udgangspunktet. I figur 8 er dette design illustreret for de 20 forsøgsgrupper, som fik samme blanding i hele perioden. Samme forsøg indeholdt også fire gruppekombinationer med fasefodring, som er relevante for praksis, men ikke i denne sammenhæng, hvor der ses på effekter af ændrede aminosyreprofiler i relation til tolkning af ideel aminosyrebalance.

Forsøgets design er illustreret i figur 8 og i tabel 6.



**Figur 8.** Niveau af fordøjeligt protein og fordøjeligt lysin i 20 forsøgsgrupper. Fra venstre mod højre tilsættes op til 35 % ekstra, frie aminosyrer i forhold til udgangspunktet ved det aktuelle proteinniveau.

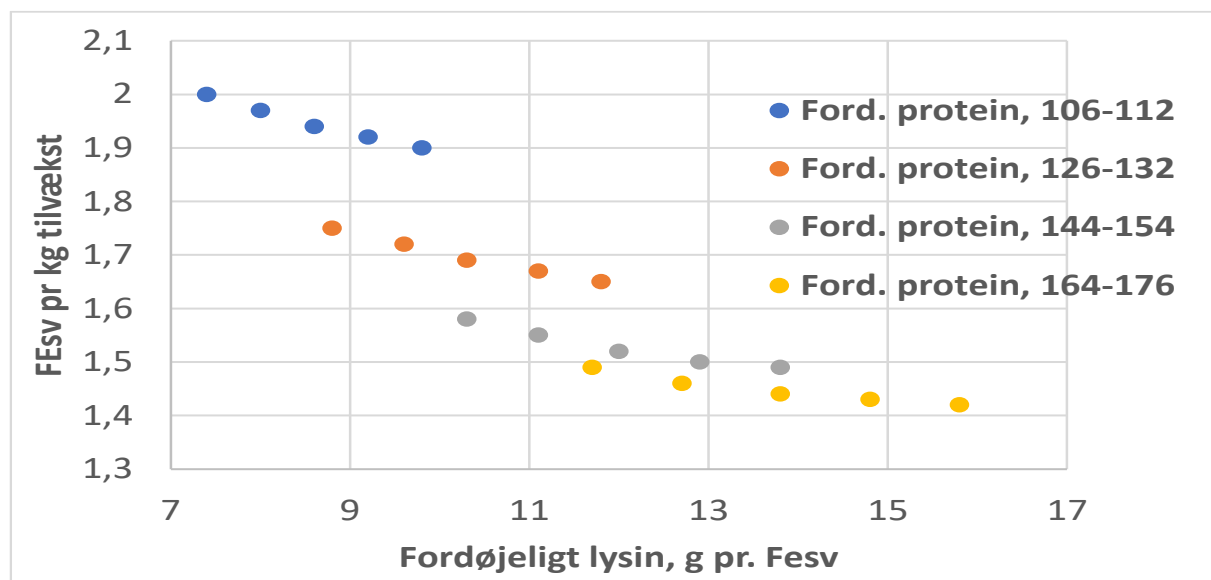
**Tabel 6.** Aminosyreprofiler ved stigende dosis frie aminosyrer. Beregnet fordøjeligt ud fra analyser og tabelværdier for fordøjelighed for hele perioden 7-31 kg.

Gruppe	1, 6, 11, 16	2, 7, 12, 17	3, 8, 13, 18	4, 9, 14, 19	5, 10, 15, 20
Lysin, g/FEsv	7,4-11,7	8,0-12,7	8,6-13,8	9,2-14,8	9,8-15,8
Lysin / leucin, %	99-104	108-112	116-120	124-128	133-136
% af lysin					
Methionin	31-33	32-34	32-35	33-36	33-37
Met+cys	55-58	54-56	53-55	53-54	53
Treonin	67	66	65-66	65	64-65
Tryptofan	22-23	22	22	22	22
Valin	65	64-65	64	64	64
Isoleucin*	50-54	46-50	43-46	40-43	38-41
Leucin*	96-101	89-93	83-86	78-80	73-75
Histidin*	31-33	29-30	27-28	25-26	24
Fenylalanin*	65-67	60-62	56-58	53-54	50-51
Fen + tyrosin*	109-113	101-104	94-97	88-90	83-85

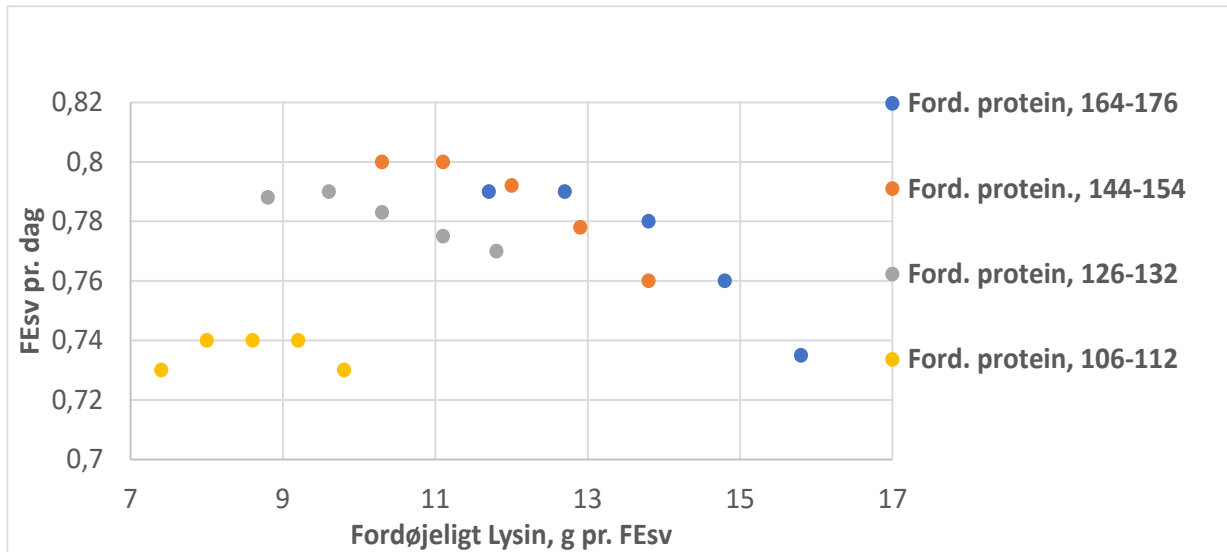
\* De laveste tal for disse begrænsende aminosyrers procent af lysin er i lavproteinblandinger. Forskelle skyldes forskelle mellem komproteins og sojaproteins aminosyreprofil for disse aminosyrer, som ikke er tilsat.

Det fremgår af tabel 6, at aminosyreprofilen i udgangspunktet før ekstra dosering af frie aminosyrer ved alle fire proteinniveauer (gruppe 1, 6, 11 og 16 i tabel 6) var meget tæt på den internationalt anvendte idealproteinprofil og normsæt indtil 2018, mens stigende dosis af frie aminosyrer medførte stigende relativ mangel i forhold til lysin af de aminosyrer, som ikke blev tilsat.

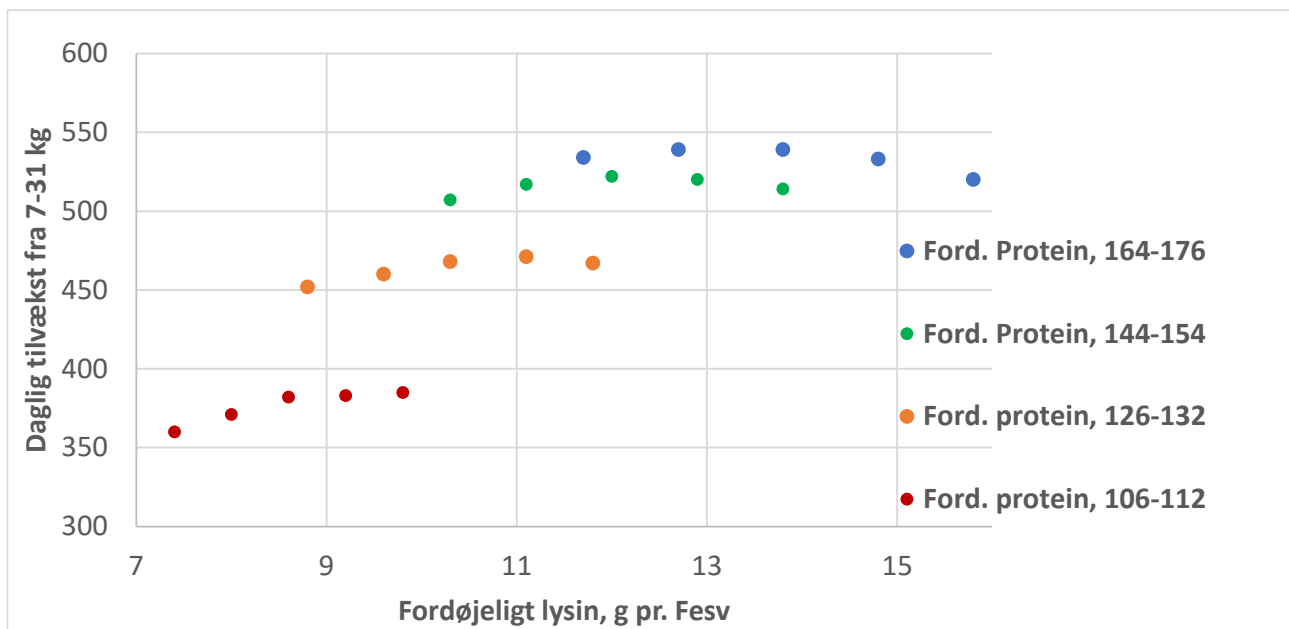
I figur 9-12 er resultaterne fra dette forsøg illustreret, dels med lysin på x-akse og for foderudnyttelse også med protein på x-akse.



**Figur 9.** Foderforbrug pr. kg tilvækst med stigende dosering af fem aminosyrer ved fire niveauer af protein.

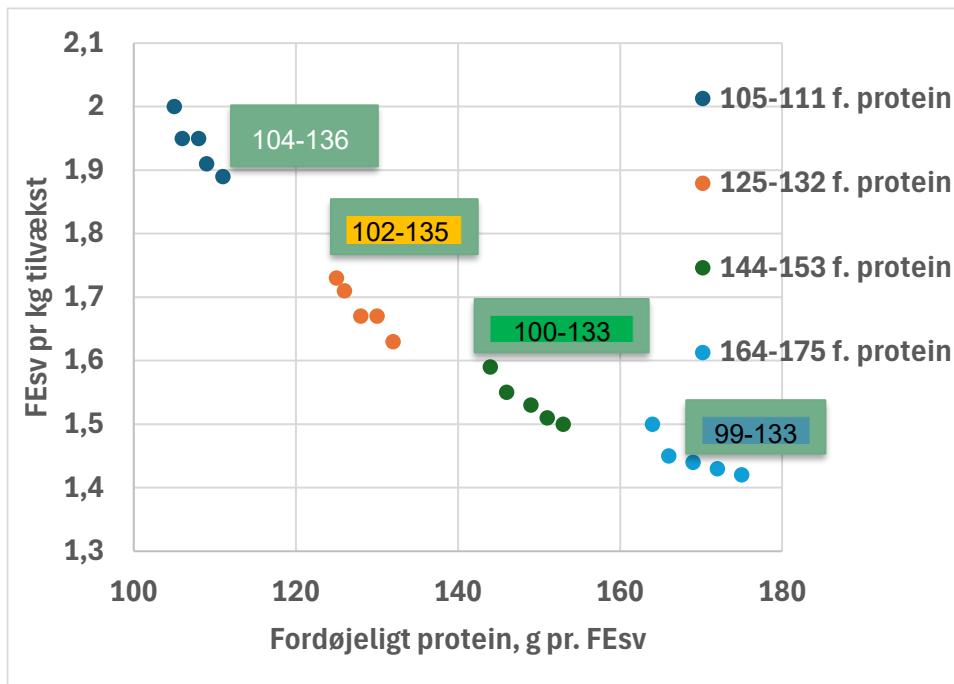


Figur 10. Daglig foderoptagelse med stigende dosering af fem aminosyrer ved fire niveauer af protein.



Figur 11. Daglig tilvækst med stigende dosering af fem aminosyrer ved fire niveauer af protein.

Tolkningen af disse forsøgsresultater kan nuanceres ved at sætte respons på foderudnyttelse i relation til fordøjeligt råprotein i foderet i stedet for til fordøjeligt lysin pr. FEsv, se figur 12.

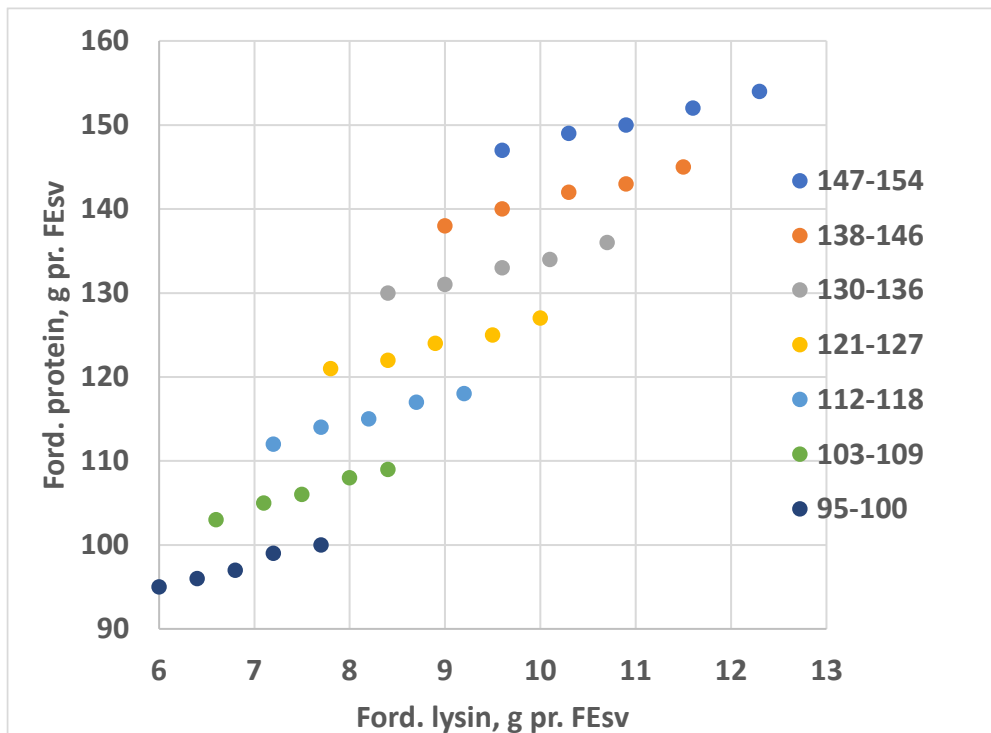


**Figur 12.** Foderforbrug pr. kg tilvækst vist som respons på fordøjeligt protein. Punkterne er LS-means pr. gruppe og "kasserne" angiver analyseret interval for lysin/leucin indenfor det aktuelle proteinniveau.

Det fremgår af figur 12, at responsen på ekstra tildeling af fem aminosyrer stort set kan følge en fælles funktion for stigende protein, dog ligger de laveste lysinniveauer - især ved de høje proteinniveauer - lidt over en tænkt fælles kurve. Det kunne tolkes som, at aminosyreprofilen bliver bedre ved at gå over 100 % lysin/leucin, men at respons på mere end ca. 110 % lysin/leucin måske alene er respons på mere fordøjeligt protein. I dette forsøg blev det desuden fundet, at diarréfrekvensen steg med stigende proteinniveau, men omvendt faldt diarréfrekvensen (op til 50-60 %) ved stigende dosering af frie aminosyrer indenfor proteinniveau, selv om dette, som det ses af figur 12, også øgede proteinniveauet. Alle detaljer herom kan findes i Meddelelse nr. 1263. Forsøget viste således, at når diarrérespons er et vigtigt parameter for den ideelle aminosyrebalance, så er 'balancepunktet' et noget højere tilskud af frie aminosyrer end til maksimal tilvækst.

#### Forsøg 4: Fem aminosyreniveauer ved syv proteinniveauer i foder til slagtegrise (Medd. nr. 1262 [12])

Samme principielle forsøgsopstilling som ovenfor er også gennemført med slagtegrise, blot var der i dette forsøg syv niveauer af protein kombineret med fem niveauer af frie aminosyrer. Forsøgsopstillingen er vist i figur 13 og konsekvenserne for aminosyreindhold i procent af lysin med stigende dosis af fem frie aminosyrer er vist i tabel 7. I forhold til smågriseforsøget var niveauer i procent af lysin "forskubbet", så niveau af tilsætning af frie aminosyrer lå på ca. 98-124 % af 'normal dosering', mens det i smågriseforsøget lige ovenfor var på ca. 102 til 135 % af 'normal dosering'.



Figur 13. Forsøgsdesign til slagtegriseforsøg med syv niveauer af protein kombineret med fem niveauer af tilsatte aminosyrer.

Tablet 7. Indhold af essentielle aminosyrer i procent af lysin.

Gruppe	1, 6, 11, 16 21, 26,31	2, 7, 12, 17 22, 27,32	3, 8, 13, 18 23, 23, 33	4, 9, 14, 19 24, 29, 34	5, 10, 15, 20 25, 30, 34
Lysin / leucin, %	97-99	104-105	110-111	117-118	124
% af lysin					
Methionin	31	31-33	31-34	31-35	31-35
Met+cys	57-62	57-60	57-59	56-57	56
Treonin	67-69	66-69	66-68	66-68	66-68
Tryptofan	20-21	20-21	20	20	20
Valin	65-66	64-65	64	63-64	62-63
Isoleucin*	53-57	50-53	47-50	45-47	42-45
Leucin*	101-103	95-96	90-91	85-86	81
Histidin*	36	34	32	30	28-29
Fenylalanin*	71	66	62-63	59	56
Fen + tyrosin*	116-117	109	102-103	97-98	92-93

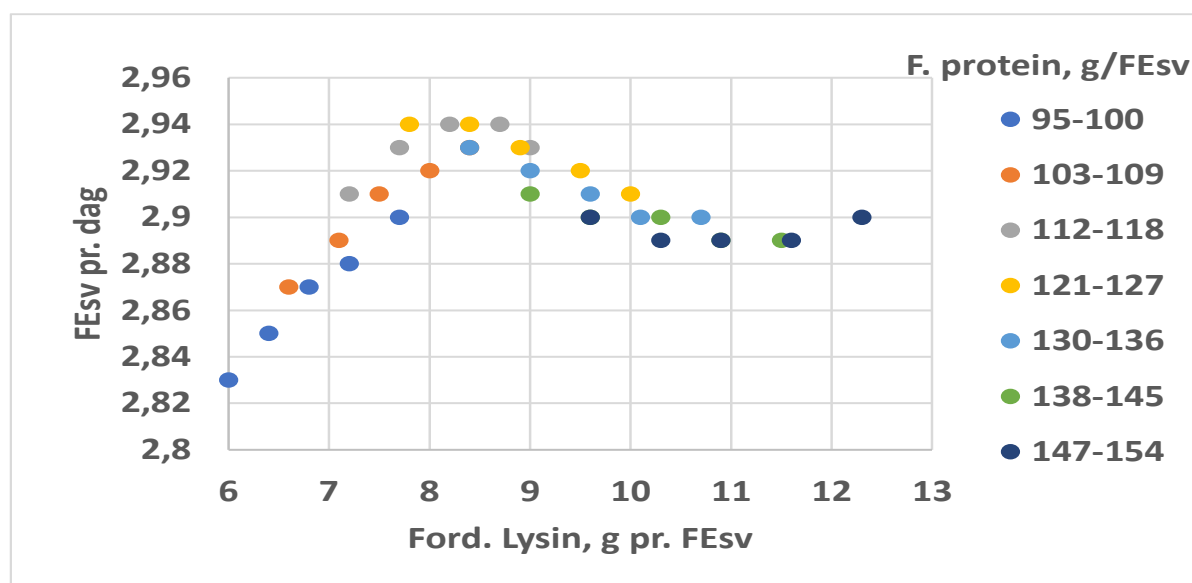
\* De laveste tal for disse begrænsende aminosyrers procent er i lavproteinblandinger, fordi kornprotein udgør en større andel af det fordøjede protein.

Respons på stigende dosis af frie aminosyrer, som ses i figur 14-20, lignede responsen for smågrise, dog sådan, at proteinniveauet var af større betydning for smågrise end for slagtegrise, hvor responset var tættere korreleret med niveauet af lysin (= niveau af fem tilsatte aminosyrer) end med niveauet af protein. Det kan dels skyldes, at forsøgets niveauer af frie aminosyrer var lavere (97-124 % i slagtegriseforsøget og 100-136 % i smågriseforsøget), men måske også, at smågrisefoder og -normer har et relativt lavere indhold af ikke-essentielle aminosyrer end slagtegrisefoder og -normer, fordi niveauer af fordøjeligt protein i forhold til lysin er lavere i smågrisefoder. Smågrise kan derfor måske i højere grad bruge de frie aminosyrer til at danne ikke-

essentielle aminosyrer eller de har mere gavn af denne omdannelse, fordi de mangler ikke-essentielle aminosyrer.

Den større korrelation til niveau af lysin kan også forklares ved, at der fermenteres en større del af de frie aminosyrer i slagtegrisefoder, fordi der er større mikrobiel aktivitet i mavesækken (ingen myresyre eller benzoesyre, og længere adaptationsperiode for mikrobiotaen). Dette kunne tolkes som, at grisene måske kun absorberer 80-90 % af de frie aminosyrer, mens 10-20 % omdannes til mikrobielt protein. Dette kunne betyde, at grisene har brug for en vis overdosering af de frie essentielle aminosyrer for at ramme den ideelle balance i forhold til niveau af ikke-essentielle aminosyrer (= i forhold til niveauet af fordøjeligt protein).

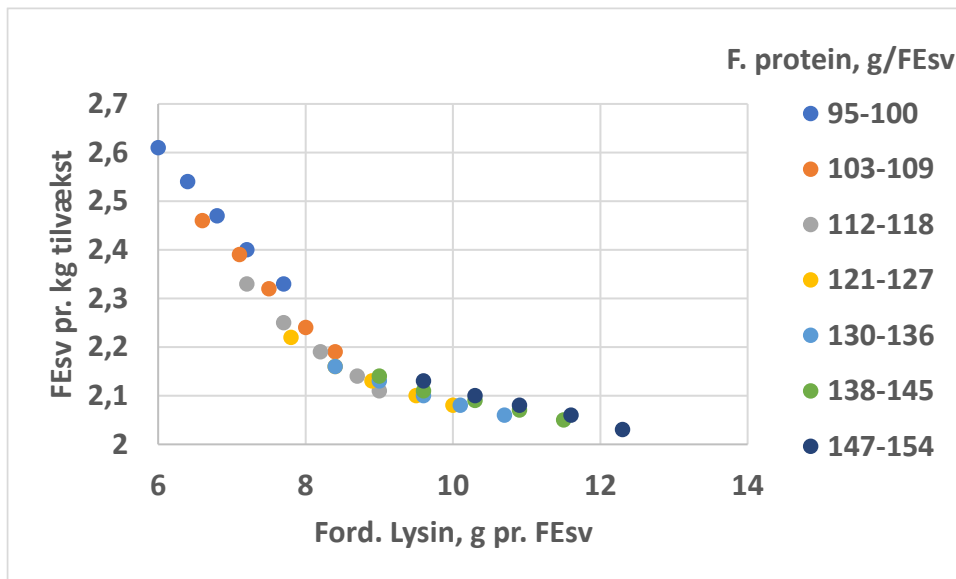
Niveauet af protein og aminosyrer påvirker både foderoptagelse, foderudnyttelse, tilvækst og kødprocent, som det fremgår af de følgende figurer.



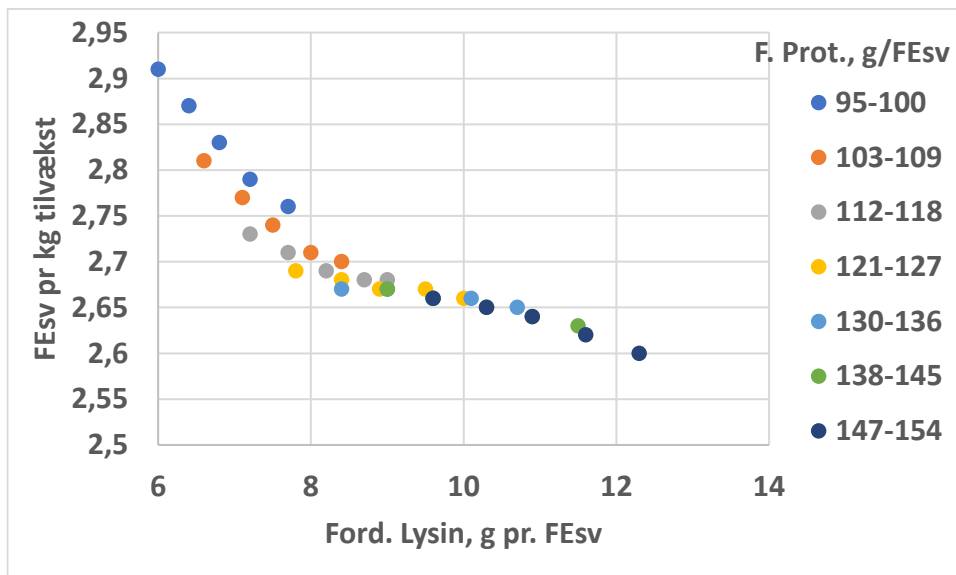
**Figur 14.** Foderoptagelse afhængig af indhold af fordøjeligt lysin og fordøjeligt protein i perioden 32-118 kg.

Det fremgår af figur 14, at foderoptagelsen hos slagtegrise er højst ved moderate protein- og lysinniveauer, mens foderoptagelsen er lidt lavere ved lavt og højt lysin- og proteinniveau. Forskellene er dog moderate og kun ca. 1 % indenfor proteinniveauer, som er relevante i praksis (112-136 g fordøjeligt råprotein pr. FEsv). Dog var foderoptagelsen 3-4 % lavere ved laveste aminosyreniveau og ca. 2 % lavere ved højeste protein- og aminosyreniveau i forhold til midterste område, hvor foderoptagelsen var maksimal.

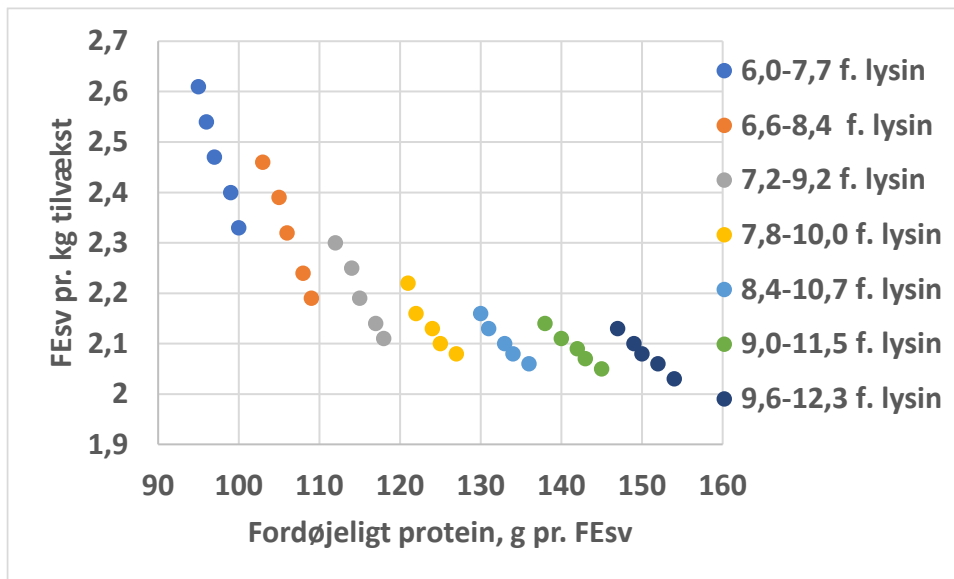
I figur 15-18 er foderforbrug pr. kg tilvækst vist for perioden 32-66 kg og perioden 32-119 kg, hvor figur 15 og 15a har indhold af fordøjeligt lysin som indikator for niveau af lysin, methionin, treonin og tryptofan på x-aksen, mens 16 og 17 har niveau af fordøjeligt protein på x-aksen.



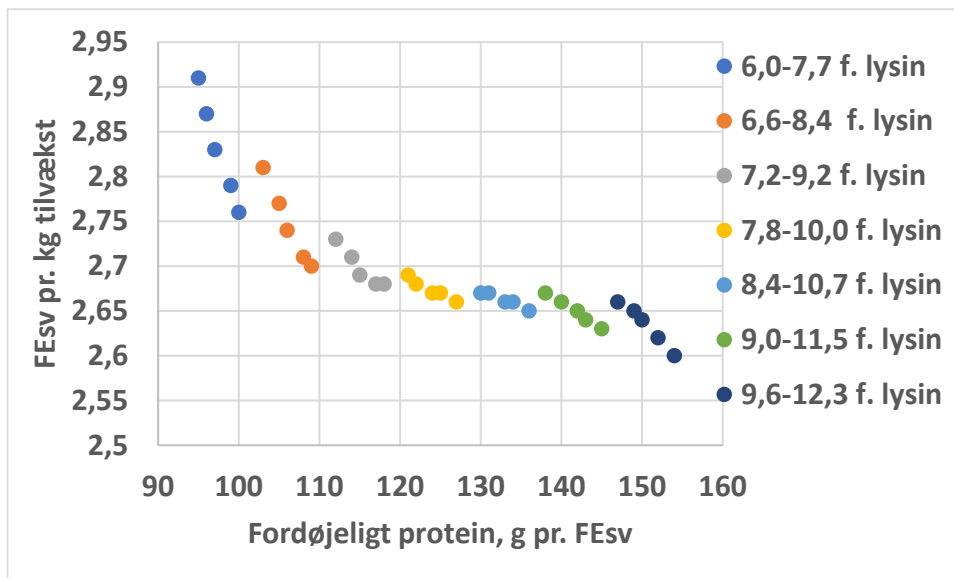
**Figur 15.** Foderforbrug pr. kg tilvækst for grise fra 32 til ca. 66 kg, afhængig af protein- og lysinniveau, hvor lysin er indikator for niveau af fem tilsatte aminosyrer.



**Figur 15a.** Foderforbrug pr. kg tilvækst for grise fra 32 til ca. 118 kg, afhængig af protein- og lysinniveau, hvor lysin er indikator for niveau af fem tilsatte aminosyrer.



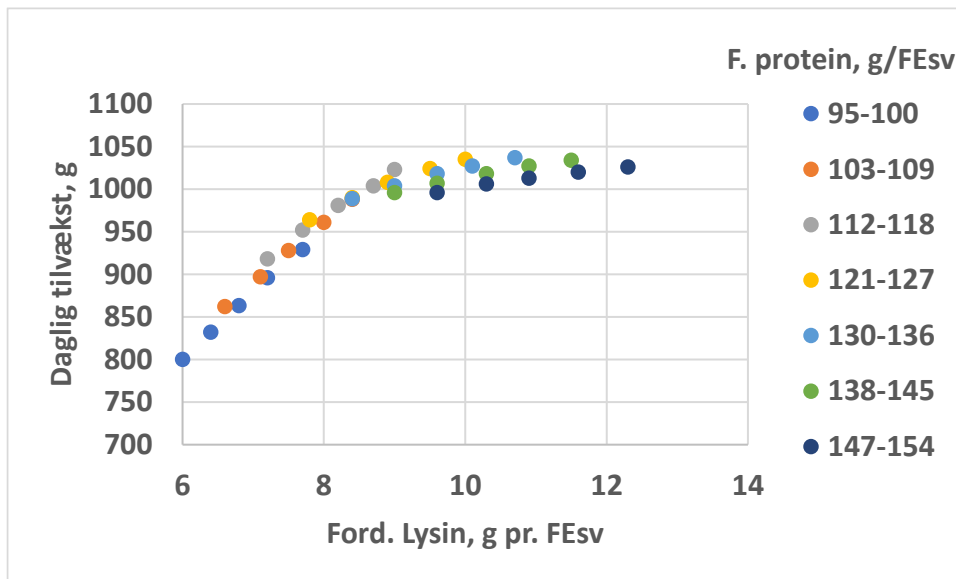
Figur 16. Foderforbrug pr. kg tilvækst for grise fra 32 til 66 kg afhængig af protein- og lysinniveau, protein er x-akse.



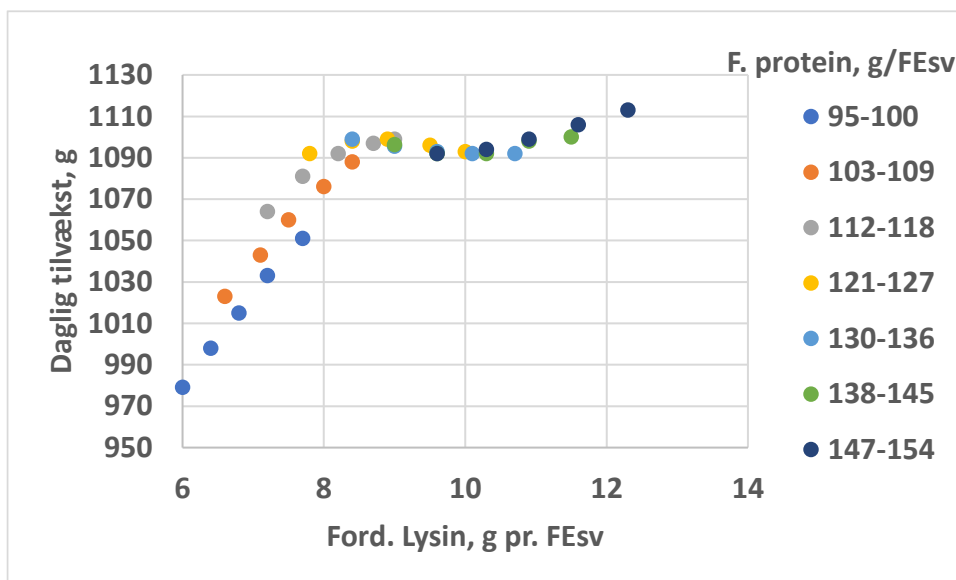
Figur 17. Foderforbrug pr. kg tilvækst for grise fra 32 til 118 kg, afhængig af protein- og lysinniveau, protein er x-akse.

Det fremgår af figur 15-17, at foderforbruget forbedres markant ved øget tildeling af frie aminosyrer – også indenfor et proteinniveau, selv om der ved stigende dosis af frie aminosyrer bliver betydelig mangel på de ikke-tilsatte essentielle aminosyrer, ifølge tabel 7 især leucin og isoleucin.

Kombinationen af effekt på foderoptagelse og foderudnyttelse giver anledning til de effekter på tilvækst, som kan ses i figur 18 og 19. Det fremgår, at unggrisenes tilvækst maksimeres ved ca. 10 g ford. lysin pr. FEsv, mens tilvæksten for hele perioden 32-119 kg opnår maksimalt ca. 8,5 g ford. lysin pr. FEsv – dog er der en lidt højere tilvækst ved de allerhøjeste niveauer af aminosyrer. Det er ikke muligt at forklare, at de allerhøjeste niveauer af protein og aminosyrer giver positiv effekt på foderudnyttelse og tilvækst specielt i hele perioden 32-119 kg (figur 17 & 19). Det kan tænkes, at de meget høje niveauer af frie aminosyrer har en eller anden effekt på mikrobiotaen, som forbedrer foderudnyttelsen.



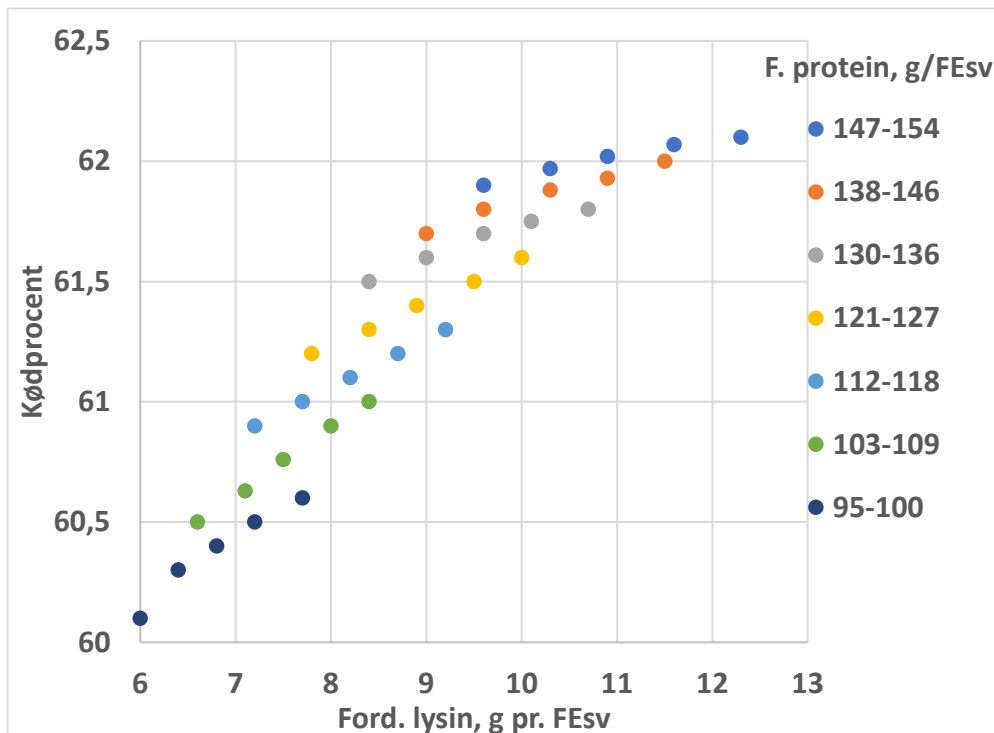
**Figur 18.** Daglig tilvækst afhængig af protein- og lysinniveau i perioden 32-66 kg.



**Figur 19.** Daglig tilvækst afhængig af protein- og lysinniveau i perioden 32-119 kg.

I figur 20 er vist effekten på kødprocenten ved alle de 35 forsøgskombinationer. Det fremgår, at kødprocenten forbedres ved tilsætning af frie aminosyrer ved alle de syv proteinniveauer, men også, at kødprocenten ved et givent lysinniveau er højere ved højere proteinniveau. Det er på kødprocenten, at der er bedst respons på proteinniveau, mens tilvækst og foderudnyttelse primært følger niveauet af de tilsatte frie aminosyrer.

Der er således lidt forskel på respons for smågrise og slagtegrise, da smågrisene reagerede kraftigere på proteinniveauet end slagtegrisene gjorde. Det kan skyldes, at niveauet af protein er meget begrænsende i smågrisenormer og knap så begrænsende i slagtegrisenormer.



Figur 20. Kødprocent som respons på niveau af protein og aminosyrer.

## Opsummering

- Resultaterne viser, at den traditionelle metode giver højere estimater for fx treonin i forhold til lysin (fx 62-63 %), mens den omvendte metode giver lavere estimater (fx 52-53 %).
- Forskellene kan fortolkes sådan, at den ene metode sikrer maksimal udnyttelse af lysin, mens den anden sikrer maksimal udnyttelse af den anden aminosyre.
- Den biologisk ideelle balance ligger mellem disse estimater og opnås, når aminosyrerne er lige begrænsende, fx ved et treonin:lysinforhold omkring 58 %.
- Valg af forsøgsmetode og niveau af den begrænsende aminosyre har derfor afgørende betydning for fortolkningen af aminosyrebehov og fastlæggelse af optimale forhold.
- I praksis påvirkes den økonomisk optimale balance yderligere af prisrelationer mellem aminosyrer og af, at normerne er bundet op som procent af lysin.

## Mikrobiotaens betydning

Mikrobiotaen i mave og tyndtarm vil i en vis udstrækning kunne nedbryde en del af de frie aminosyrer, inden de absorberes eller ombygges til andre aminosyrer. Mikrobiotaen vil desuden omsætte en andel af foderproteinet og det endogene proteintab. Det er også demonstreret, at mikrobiotaen kan danne essentielle aminosyrer ud fra kulhydrat og ammonium, da man kan finde radioaktivt mærkede isotoper fra glukose ( $^{14}\text{C}$ ) og ammonium ( $^{15}\text{N}$ ) i essentielle aminosyrer i kødet hos grise, når de fodres med en lavproteinblanding [15]. Det er ligeledes fundet, at man i en lavproteinblanding med høje tilskud af essentielle aminosyrer – og dermed lave indhold af ikke-essentielle aminosyrer – kan opnå normal proteinaflejring ved at tildele ammonium i foderet som kvælstofkilde i form af ammoniumfosfat eller ammoniumcitrat. Ammonium var lige så effektivt pr. g N som tilskud af en blanding af aminosyrer eller glutaminsyre alene. Derimod var der ingen effekt af at tildele kvælstof i form af urinstof [16]. I dette forsøg kan det dog ikke afgøres, om den tildelte ammonium først bliver indbygget i mikrobielt protein i tarmen eller om absorberet ammonium bruges i kroppen til at danne ikke-essentielle aminosyrer. Det mest sandsynlige er, at begge mekanismer er til stede samtidigt, men forfatterne mener, at det i

dette tilfælde primært er opbygning af ikke-essentielle aminosyrer fra absorberet ammonium, der er årsagen til den gode effekt.

Det betyder, at mikrobiotaen påvirker aminosyresammensætningen i det protein, grisene optager, da en vis del af både NPN, DNA, frie aminosyrer, foderprotein og endogent protein omdannes til mikrobielt protein. Der er desuden undersøgelser, som tyder på, at der også hos grise (kendt mekanisme hos kvæg) er lidt recirkulering af urinstof til tarmen, som kan bruges til at danne mikrobielt protein [15]. Forsøget med tildeling af henholdsvis ammonium og urinstof [16] viste dog som nævnt, at urinstof havde ingen eller minimal effekt sammenlignet med frit ammonium, hvorfor denne recirkulering af urinstof formentlig kun har meget lille betydning. En stor del af det mikrobielle protein bliver nedbrudt undervejs i tarmen og absorberet til kroppen med en aminosyresammensætning, som bestemmes af mikrobiotaen.

Man kan derfor forvente, at mikrobiotaen modulerer foderets aminosyresammensætning, da den kan bruge overskydende aminosyrer til at danne de aminosyrer, der er i underskud i forhold til den aminosyresammensætning, som mikroorganismene har brug for i deres egen proteinaflejring. For eksempel kan en stor tilførsel af frie aminosyrer som lysin og treonin blive omdannet til både andre essentielle aminosyrer og til ikke-essentielle aminosyrer. Sidstnævnte kan ske både i tarmen af mikrobiotaen eller i grisens krop, hvor stort overskud af enkelte essentielle aminosyrer kan bruges til at danne de manglende ikke-essentielle aminosyrer.

Det er også fundet, at såvel proteinniveau som tilsætning af frie aminosyrer kan påvirke den mikrobielle sammensætning i tarmen [17, 18, 21], og det er sandsynligvis denne ændring i mikrobiotaen, som er årsagen til mindre diarré hos smågrise, der fodres med høje doser frie aminosyrer [10, 21]. Det kan dog også tænkes, at der er en direkte effekt af de frie aminosyrer på tarmcellernes vækst og sundhed eller at fx lysinhydroklorid både virker let forsurende og bidrager med klorid-ioner, som måske kan være gavnlige for produktion af saltsyre i maven for nyfravænnede grise.

I de senere år er der udgivet mange artikler om denne vekselvirkning mellem tarmflora og grise og andre dyr [fx 17,18]. Generelt er det meget komplekst, fordi der er uhyre mange forskellige mikroorganismer og sammensætningen af mikrobiotaen påvirkes af både protein, aminosyrer, fermenterbare kulhydrater, foderstruktur og tilsætningsstoffer som fx benzoesyre, kobber og jern. Nogle mikroorganismer kan danne alle aminosyrer selv, mens andre har behov for 3-5 essentielle aminosyrer, ligesom det fx er demonstreret, at højt tilskud af frit valin kan hæmme den mikrobielle dannelse af leucin og isoleucin i nogle colistammer, hvorfor frit valin kan blokere deres vækst, fordi syntesen af leucin og isoleucin er hæmmet af valinoverskud. Det er dog ukendt, om dette er en betydende mekanisme i praksis, når grise får lidt frit valin, men ikke får frit leucin og isoleucin, da mikrobiotaen måske kan hente de manglende aminosyrer fra foderprotein og endogent protein. Det er således fundet, at alene tilskud af frit lysin op til NRC-normen fra 2012 (både som lysinklorid og som lysinsulfat) kan mindske diarré ved grise sammenlignet med grise, der kun fik ca. 73 % af NRC-normen [19]. En afprøvning i SEGES Innovation [22] har dog vist, at høje doser frit lysinsulfat – svarende til samme lysinniveau som i Meddelelse nr. 1263 [10] – kunne øge diarréfrekvensen ca. 40 % i forhold til grise, der fik et lysinniveau svarende til idealproteinniveauet. Det skyldes sandsynligvis, at niveauet af sulfat overskrider grisenes absorptionskapacitet og dermed inducerer en osmotisk diarré. I dén afprøvning [22] var doseringen af lysinsulfat dog betydeligt højere end i den meget mindre undersøgelse, hvor effekten var positiv [19].

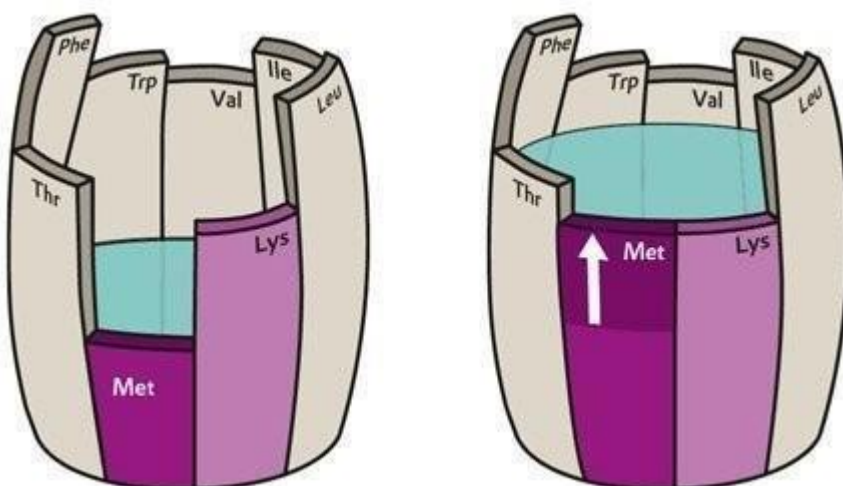
Det er endnu ikke muligt at få overblik over denne komplicerede vekselvirkning mellem mikrobiota, foder og grise. Det må formodes, at høje tilskud af frie aminosyrer forbedrer de gavnlige bakteriers konkurrencesituation på bekostning af sygdomsfremkaldende bakterier, men det er ikke afklaret, hvilke mekanismer, der betyder mest. Det vigtige i denne sammenhæng (forsøg med idealprotein) er, at man ikke kan se bort fra mikrobiotaen, og at denne kan være forklaringen, når der opstår nogle meget høje udnyttelser af en begrænsende aminosyre, da mikrobiotaen kan producere lidt ekstra af de mest begrænsende aminosyrer. Eksempelvis vil

mikrobiotaen ved store overskud af lysin og treonin kunne bruge disse aminosyrer til at danne alle de nødvendige aminosyrer i mikrobielt protein, hvorved der fx kan dannes leucin, histidin og isoleucin ud fra lysin og treonin, som derved forbedrer grisens forsyning med leucin, histidin og isoleucin i forhold til det, der er i foderet.

Da de frie aminosyrer absorberes hurtigt, er der imidlertid grænser for, hvor meget, mikrobiotaen kan nå at omsætte inden aminosyrerne er absorberet. Derfor vil omdannelse i kroppen af overskydende frie aminosyrer til ikke-essentielle aminosyrer sandsynligvis betyde mere end den mikrobielle omdannelse af essentielle aminosyrer til ikke-essentielle aminosyrer i tarmen. Mikrobiel omdannelse er dog den eneste vej til at omdanne frie aminosyrer til andre essentielle aminosyrer.

## 'Idealproteintønden' er en forsimplet fortolkning

Gennem mange år har man brugt en tønde med forskellige højder på stave som en populær illustration af den ideelle aminosyrebalance, se figur 21.



**Figur 21.** "Idealproteintønden". Den mest begrænsende aminosyre bestemmer alene vandstanden, det vil sige den opnåelige tilvækst og foderudnyttelse.

I figur 21 er methionin brugt som eksempel på den mest begrænsende aminosyre med en tolkning af, at det alene er methionin, som bestemmer vækstpotentialet, når den er mere begrænsende end de andre aminosyrer. De nye forsøg har vist, at det er en forenklet, men ikke helt korrekt tolkning. Det vil således være meget værre for grisen, hvis alle aminosyrer var lige så lave som methionin i forhold til den ideelle balance – altså er det værre, hvis flere aminosyrer fx ligger på 70 % af behovet end hvis blot én aminosyre er på 70 % af behovet. Der kan bl.a. peges på følgende problemstillinger i forhold til "idealproteintønden":

1. Tøndens form (stavenes relative højde) afhænger af proteinniveau i forhold til behov, da underforsyning ændrer fordelingen mellem kroppens fraktioner, bl.a. ved, at lysinbehovet i forhold til andre aminosyrer er lavere ved underforsyning, mens lysin relativt udgør en større andel ved høj kødaflejring, dvs. med moderne genetik, som får deres proteinbehov dækket. Bestemmelse af den ideelle balance til vækst kræver derfor, at niveau af protein og aminosyrer kun må være lidt begrænsende i forhold til at sikre økonomisk optimal vækst.
2. Hvis én aminosyre er meget begrænsende, kan denne aminosyre udnyttes meget effektivt, så der stort set aflejres 100 % af den fordøjede aminosyre og måske endda lidt over 100 % i forhold til

- foderets indhold, fordi mikrobiotaen vil producere den begrænsende aminosyre for at lave de proteiner, som mikrobiotaen skal bruge. Denne meget effektive udnyttelse af den mest begrænsende aminosyrer er en vigtig problemstilling ved tolkning af forsøg, specielt ved de typiske forsøg, hvor lysin har været meget begrænsende, mens man undersøger effekten af stigende tildeling af en anden aminosyre. Det er også en del af forklaringen på den betydelige forskel i forhold til estimater ved "omvendte forsøg".
3. Overskud af essentielle eller ikke-essentielle aminosyrer vil til en vis grad kunne øge proteinaflejrningen, fordi der er rigeligt med byggesten til at håndtere tab ved deaminering af aminosyrer og til at bygge de ikke-essentielle aminosyrer, som mangler i den primære absorption.
  4. Det er muligt, at høj proteintildeling øger omsætningen af protein i kød, og at dette i sig selv medfører lidt større aflejring, end der alene kan forklares af højere dosering af begrænsende aminosyrer. Således vil slagtegrisenes kødprocent øges lidt med stigende proteintildeling, selv om man ikke øger niveauet af essentielle aminosyrer.
  5. Variation i mikrobiel omsætning i maven mellem forsøg kan påvirke estimaterne for den ideelle balance, når man tildeler stigende dosis af en begrænsende aminosyre i forhold til en anden aminosyre (typisk lysin). Det vil især være de frie aminosyrer, som kan omsættes i mavesækken, mens de proteinbundne aminosyrer ofte først frigives meget tæt på absorptionsstedet i tyndtarmen. Omsættes en tilsat aminosyre, vil man estimere et større behov for denne aminosyre. Dette 'behov' kan afvige fra det logiske ud fra grisekødets sammensætning, men vil jo afspejle grisenes behov, hvis omsætningen af de frie aminosyrer i grisene i praksis ligner forsøgsbetingelserne.
  6. Det er fortsat uklart, hvad den mikrobielle omsætning betyder rent kvantitativt i forhold til nedbrydning/ombygning af frie aminosyrer og i forhold til syntese af essentielle og ikke-essentielle aminosyrer, men det kan helt sikkert påvirke den aminosyrebalance, som absorberes af grisen.

## Forslag til tolkninger af den ideelle aminosyrebalance

### Den biologisk ideelle aminosyresammensætning kan defineres som følger:

Alle essentielle aminosyrer er lige begrænsende for den aktuelle livsytring (vækst eller mælkeproduktion) og samtidig er summen af ikke-essentielle aminosyrer netop lige så begrænsende som summen af de essentielle aminosyrer. Sidstnævnte kan i praksis tolkes som, at niveauet af fordøjeligt protein er lige så begrænsende som niveauet af de essentielle aminosyrer. Denne biologisk optimale balance vil så ændres lidt gennem grisenes vækstperiode, ligesom balancen som 'lige begrænsende' ændres, hvis der fodres betydeligt under behov, fordi kødaflejringen nedprioriteres. Den biologisk ideelle balance kan ideelt estimeres som gennemsnit af forhold i forhold til lysin ved omvendte forsøg – alternativt som knæpunktet med brækket linje ('broken line') som statistisk model i forsøg med én aminosyre i stigende dosis ved konstant lysin. Knæpunktet vil sandsynligvis i de fleste tilfælde ramme stort set det samme som gennemsnit af omvendte forsøg.

### Aminosyrebalance som sikrer maksimal udnyttelse af det fordøjede lysin

Det er det niveau af fordøjelige aminosyrer, både essentielle og ikke-essentielle, som giver den bedste foderudnyttelse og tilvækst ved et givent lysinniveau. Det er i princippet dette, som for den enkelte aminosyre bestemmes som maksimal respons ved stigende dosering af den aktuelle aminosyre til en blanding, hvor kun lysin og den undersøgte aminosyre er begrænsende. Sagt med andre ord: Det er det niveau, som de fleste aminosyrers behov i forhold til lysin er bestemt ved, altså ved stigende dosering af den undersøgte aminosyre ved konstant lysinniveau, hvor lysin er under behovet. Da lysin ved denne metode skal være under grisenes behov, og da man ved tidspunktet for forsøgsdesign ikke med sikkerhed kan vide, hvilket lysinbehov, de aktuelle forsøgsgrise vil have, ses det ofte, at forsøgsdesign med denne forsøgsopstilling gennemføres ved ret lave lysinniveauer. Jo lavere lysinniveau under de aktuelle grisenes behov, jo højere overestimering af behovet for den undersøgte aminosyre vil der forekomme - især ved brug af kurvelineær plateau-metoden. I hvert fald kan det fundne 'behov' i forhold til lysin ikke tolkes som den biologisk optimale balance, men derimod det

niveau, hvor den aktuelle aminosyre ikke er begrænsende for maksimal udnyttelse af lysin. Ud fra de ovenfor gennemgåede forsøg, vil lysinbehovet ved denne metode sandsynligvis undervurderes 5-10 % i forhold til den biologisk ideelle sammensætning, hvor alle aminosyrer er lige begrænsende.

## Aminosyrebalance som sikrer maksimal udnyttelse af det fordøjede protein

Med denne tolkning tildeles overskud af frie essentielle aminosyrer, så disse med sikkerhed ikke mangler, men i stedet kan bruges til at danne ikke-essentielle aminosyrer. Der vil dog kunne estimeres et niveau, som lige netop sikrer tilstrækkeligt overskud af den tilsatte aminosyre til, at denne ikke er begrænsende, men hvor yderligere tilskud alene går til at danne ikke-essentielle aminosyrer. For lysin vil dette punkt estimeres som toppunktet for respons af lysin med kurvelineær plateau-metoden med stigende lysin i forhold til en eller flere andre begrænsende aminosyrer. Ved stigende dosis af flere aminosyrer vil de marginale effekter af meget høje doser sandsynligvis skyldes, at de tilsatte aminosyrer bruges til at danne ikke-essentielle aminosyrer.

## Økonomisk optimale balancer

Den økonomisk optimale balance mellem aminosyrer og mellem tilsatte aminosyrer og proteinniveau afhænger af flere faktorer:

1. Den vigtigste faktor er omkostningen til ekstra protein i forhold til omkostningen ved ekstra aminosyrer. I smågrise-foder med loft på sojaskrå vil de frie aminosyrer i praksis konkurrere med dyrt protein fra sojaproteinkoncentrat, kartoffelprotein, fiskemel, plasma mm., hvilket i sig selv giver god økonomi i at overdosere/ekstradosere de frie aminosyrer, da det sparer på forbruget af dyre proteinkilder. Sideeffekten er også en reduceret risiko for diarré, hvis ekstradoseringen ikke foregår med lysinsulfat. Af tabel 9 fremgår, at 1 g fordøjeligt råprotein er billigere fra lysin og treonin end fra fiskemel og kartoffelprotein, mens sojaskrå giver den laveste pris pr. g fordøjeligt råprotein. For slagtegrise er det prisen på at tildele fire eller fem frie aminosyrer i forhold til at tildele de samme aminosyrer via sojaskrå, som bestemmer den optimale balance. Det betyder, at det er mindre attraktivt at overdosere i slagtegrise-foder – også fordi proteinniveauet i sig selv giver positivt udslag på kødprocent (figur 20), hvilket ikke er en faktor i smågriseøkonomien.
2. En anden vigtig faktor er den relative omkostning ved at øge de enkelte aminosyrers dosering med fx 10 % af normen. Forestiller man sig, at udgangspunktet er den biologisk optimale balance, så vil det give økonomisk mening at tildele lidt mere end den biologisk optimale balance for de aminosyrer, hvor det er billigst at øge doseringen. Det er således meget billigere at øge foderets indhold af fordøjeligt treonin med 10 % end at øge lysinindholdet med 10 % (se tabel 8).
3. For lysin er det specielt, at alle andre aminosyrer angives som en procent af lysin, og derfor vil forøgelse af lysinnormen medføre en tilsvarende forøgelse af alle normer, medmindre man beslutter, at alle andre aminosyrers andel af lysin sænkes. En mulighed kunne også være, at aminosyreprofilen blev defineret som procent af leucin, som det normalt ikke er økonomisk relevant at tilsætte, da det vil muliggøre en mere uafhængig lysinnorm, så højere lysinniveau ikke automatisk øger alle andre aminosyrer.

**Tabel 8.** Relative priser (november 2025) på at øge den biologisk optimale balance med 10 % ved 10 g fordøjeligt lysin pr. FEsv.

	Profil - eksempel	Koncentration	Pris, øre pr. kg	+10 % (1 g lysin) Øre pr. FEsv
Lysin (HCl)	100	78,8	1170	1,48
Lysinsulfat	100	55,6	785	1,41
Methionin	30	99,0	1860	0,56
Met+cys	54	(99,0)	(1860)	(1,01)
Treonin	58	98,0	900	0,53
Tryptofan	20	98,0	3630	0,74
Valin	62	96,5	1740	1,10

**Tabel 9.** Prisen pr. gram ekstra fordøjeligt råprotein fra forskellige fodermidler med priser fra november 2025.

Fodermiddel	Pris pr. 100 kg Kr.	Fordøjeligt protein g pr. kg	Øre pr. g fordøjeligt protein
Lysin-HCl (78,8% lysin)	1170	944	1,24
Lysinsulfat (70%) (55,6% lysin)	785	820*	0,96*
Methionin	1860	587	3,17
Treonin	900	720	1,25
Tryptofan	3630	840	4,32
Valin	1740	721	2,41
Fiskemel	1600	636-660	2,42-2,52
Kartoffelprotein	1450	689-708	2,05-2,10
Vilsoy	540	450	1,20
Sojaskrå, middel protein	260	400	0,65

\* Lysinsulfat indeholder ud over lysin og sulfat også proteinbundne aminosyrer, normalt mindst 10 % råprotein fra aminosyrer og evt. lidt rest-ammonium fra fermenteringen.

I tabel 10 er det forsøgt at lave en oversigt over forfatterens nuværende tolkning af den optimale aminosyrebalance ud fra forskellige kriterier, hvor de økonomisk optimale normer er de mest relevante for praksis, og disse er desuden under konstant tilpasning ud fra nye forsøg og aktuelle prisrelationer.

**Table 10.** Forskellige tilgange til ideel aminosyrebalance og bud på, hvilke profiler, der bedst understøtter et givent formål.

Kriterie	Maksimal udnyttelse af		Biologisk optimal 'bedste bud'	Økonomisk optimal = Normer
	Lysin Små/slagtegrise	Protein Små/slagtegrise	Små- /slagtegrise	Små- / slagtegrise
% af lysin				
Methionin	32/30	32/30	30/28	32/30
Met+cys	54/58	54/58	52/56	54/58-61
Treonin	63/66	63/66	58/62	62/65-67
Tryptofan	18-23*	18-23*	18*	21-23/20
Valin	65/67	65/67	62/63	62-64/64
Isoleucin**	53	48	50	48-50/53
Leucin**	100	86	94	86-90/100
Histidin**	32	28	30	28-30/32
Fenylalanin**	54	***	***	54/54
Fen + tyrosin**	95-100	***	***	95/100
Ford. protein pr. 10 g ford. lysin	Min 145	Op til 120	Ca. 137	Smågrise 117-125**** Slagtegrise 144-148****

\* Tryptofan er speciel, da niveauer over ca. 18 % ikke forbedrer proteinudnyttelsen i form af foderforbrug pr. kg tilvækst, men i stedet for øger foderoptagelse og tilvækst.

\*\* Det forudsættes her, at priserne på disse aminosyrer er så høje, at det bedre kan betale sig at køre med betydelige underskud i forhold til biologisk optimal balance i smågrisefoder. I praksis er anvendelse af tilskud for at mindske protein yderligere formentlig spild af penge, da proteinniveauet (dvs. ikke-essentielle aminosyrer) vil være begrænsende og sænke udnyttelsen af alle de andre aminosyrer. Se fx Meddelelse nr. 1203 [20], hvor det blev forsøgt at reducere proteinniveauet yderligere ved ekstra tilskud af isoleucin, leucin og histidin med væsentligt forringede produktionsresultater til følge.

\*\*\* Dårligt forsøgsmæssigt belæg for en vurdering og det er ikke relevant i praksis, da disse aminosyrer ikke er mest begrænsende med den nuværende typiske fodring.

\*\*\*\* Er beregnet ud fra minimumsnormer, men i praksis vil der ofte være lidt mere end minimumsnormer, især i smågrisefoder for at leve op til alle aminosyrenormer.

## Konklusion

Den biologisk ideelle aminosyresammensætning kan defineres som følger: Alle essentielle aminosyrer er lige begrænsende for den aktuelle livsytning (vækst eller mælkeproduktion) og samtidig er summen af ikke-essentielle aminosyrer netop lige så begrænsende som summen af de essentielle aminosyrer. Sidstnævnte kan i praksis tolkes som, at niveauet af fordøjeligt protein er lige så begrænsende som niveauet af de essentielle aminosyrer.

Gennem mange år har man forsøgt at finde denne optimale aminosyrebalance for grise i vækst ved en forsøgsmetodik, som systematisk har overvurderet behovet for andre aminosyrer i forhold til lysin. Det skyldes, at de fleste forsøg er gennemført med stigende dosis af den aktuelle aminosyre i forhold til lysin ved lavt proteinniveau og med lavt niveau af lysin. Det lave proteinniveau påvirker grisenes fordeling af aminosyrer på kroppens fraktioner, så lysinindholdet i proteinaflejringen reduceres og samtidig maksimeres udnyttelsen af lysin, når lysin er meget begrænsende.

Omvendte forsøg, dvs. med stigende tildeling af lysin, hvor den anden undersøgte aminosyre (fx treonin eller leucin) er den begrænsende aminosyre, giver et estimat for den ideelle balance mellem to aminosyrer, som er 10-20 % mere lysin i forhold til den anden undersøgte aminosyre. Det er fx fundet i smågriseforsøg, at det

optimale treonin:lysinforhold kan estimeres til ca. 63 % ved lavt lysinniveau og stigende treoninniveau (traditionel metode), men kun er 53 % ved den omvendte metode med lavt treoninniveau og stigende lysinniveau. Den biologisk ideelle balance er sandsynligvis midt imellem, det vil sige ca. 58 %.

En anden problemstilling er tolkning af afvigelser fra den ideelle balance, hvor det tidligere har været en slags underforstået hypotese, at hvis blot én aminosyre er på 90 % af behovet, så vil grisene reagere som om alle aminosyrer er på 90 % af behovet. Nyere forsøg har vist, at der er et forholdsvis langt interval, hvor grisene responderer moderat på såvel underskud som overskud af én essentiel aminosyre i forhold til den ideelle balance, hvis denne er defineret ud fra "biologisk" lige begrænsende. Det vil sige, at hvis to aminosyrer er de mest begrænsende og er lige begrænsende, så vil tilskud af den ene aminosyre give et positivt respons, mens tilskud af begge giver et større positivt respons.

Nyere forsøg har ligeledes vist, at øget tilskud af 4-5 frie aminosyrer til lavproteinføder til smågrise eller slagtegrise giver en positiv effekt på især foderforbruget pr. kg tilvækst ud over det niveau, som kan forklares af en bedre aminosyrebalance. Tolkningen af dette er, at de overskydende frie aminosyrer kan omdannes til ikke-essentielle aminosyrer, da niveauet af disse ofte kan være en begrænsende faktor i lavproteinføder til grise i vækst.

Mikrobiotaen i grisens mave og forreste del af tyndtarmen kan desuden bruge de frie aminosyrer til at danne mikrobielt protein, som fordøjes længere nede i tyndtarmen. Dette kan medføre et tab af de tilsatte aminosyrer, men samtidigt kan det give et tilskud af både essentielle og ikke-essentielle aminosyrer, som mikrobiotaen har dannet ud fra de for mikrobiotaen lettilgængelige frie aminosyrer. Denne mikrobielle omsætning kan være en medvirkende årsag til positiv effekt af høje doser af frie aminosyrer, men den primære effekt er formentlig omdannelse af overskydende essentielle aminosyrer til manglende ikke-essentielle aminosyrer i grisens krop.

I de danske normer for aminosyrer til vækstgrise tages hensyn til disse effekter af 'overdosering af de billigste aminosyrer', og målet med normerne er ikke den biologisk optimale balance, men derimod den økonomisk optimale balance, som tager hensyn til priserne på de enkelte aminosyrer, priserne på relevante proteinkilder, risikoen for diarré mm.

## Anvendte forkortelser og begreber

Forkortelse	Betydning
Fordøjeligt	Protein og aminosyrer: Standardiseret ilealt fordøjeligt.
F. og ford. (i tabeller og grafer)	Fordøjeligt
Frie aminosyrer	Krystallinske aminosyrer, der kan tilsættes foderet.
Idealprotein og Idealproteinprofil	Forholdet mellem aminosyrerne i det såkaldte Idealproteinforhold. Med "såkaldt" menes, at forholdstallene for isoleucin, leucin, histidin og valin er estimeret 5-10 % for højt, som påvist i flere undersøgelser [8, 9, 10, 11, 12]
Mikrobiota	Alle mikroorganismer (bakterier, svampe, virus og Arkæer), der er til stede i dyret, hvad enten der er hud, tarm eller lignende. Arkæerne er et af de tre domæner af levende organismer sammen med bakterier og eukaryoter. Arkæer og bakterier kaldes samlet for prokaryoter. Arkæernes separate identitet blev opdaget i 1970'erne. Arkæer kan leve i ekstreme miljøer, hvor bakterier normalt vil dø.
Mikroflora	Bruges alment og udbredt <i>udenfor</i> "mikrobiom-forskningen" som et synonym for <i>Mikrobiota</i> . Der er uenighed om rigtigheden i at bruge dette begreb, blandt andet er det forsøgt at ensrette sprogbrugen på området, men det er muligvis lige så nemt som at holde sprogligt sjusk (fx overflødig engelsk og vildskud: "at vækste") ude af det danske sprog.
Produktionsværdi	Ud fra de opnåede produktionsresultater (daglig tilvækst og foderudnyttelse (og kødprocent ved slagtegrise) i afprøvninger fra Den rullende Afprøvning (SEGES Innovation) bliver der beregnet en produktionsværdi. Produktionsværdien er oftest den primære parameter, da den er et samlet udtryk for værdien af grisenes biologiske respons på forsøgsbehandlingerne ved brug af gennemsnittet af de seneste fem års priser for grise og foder. Ved beregning af produktionsværdien indgår samme foderpris for alle grupper.
Dækningsbidrag	Dækningsbidraget beregnes på samme måde som produktionsværdien, dog også med individuelle foderpriser for hver gruppe, der afhænger af foderets protein- og aminosyreindhold.

## Referencer

1. Jørgensen, N.J., A. Just, Henry Jørgensen. Anatomisk og kemisk sammensætning af 20 og 90 kg grise. Meddelelse nr. 560, Statens Husdyrbrugsforsøg, 1984.
2. Jørgensen, H., J. A. Fernández, S. Bech-Andersen. Aflejring og indhold af aminosyrer hos slagtesvin. Meddelelse nr. 701, Statens Husdyrbrugsforsøg, 1988.
3. Fernandez, J. & A. Danfær. Revision af normtallene for svinekroppens indhold af N og P samt indholdet pr. kg tilvækst (Internt notat, ikke publiceret). Aarhus Universitet. 2007.
4. Mahan, D.C. & R.G. Shields, Jr. Essential and Nonessential Amino Acid Composition of Pigs from Birth to 145 Kilogram of Body Weight, and comparisons to Other Studies. J. Anim. Sci. 76: 513-521, 1998.
5. Milgen, J. van & J-Y Dourmad. Concept and application of ideal protein for pigs. J. Anim.Sci and Biotechnology 6:15. 11 pp., 2015.

6. Hulshof, T.G., A.F. B van der Poel, W. H. Hendriks & P. Bikker. Amino Acid utilization and body composition of growing pigs fed processed soybean meal or rapeseed meal with and without amino acid supplementation. *Animal* 11:7, pp 1125-1135, 2017.
7. Bikker, P, M. Bosch & M.W.A. Verstegen. Amino Acid composition of growing pigs is affected by Protein and Energy intake. *J. Nutrition*, p 1961-1969. 1994.
8. Sloth, N.M, J.K. Bache, J. Vinther, P. Tybirk, M.C.N. Engelsmann, S. S. grove & B. Nielsen. Treonin:Lysin-behovet overestimeres ved den traditionelle forsøgsmetode. [Meddelelse nr. 1272](#), SEGES Innovation, 2022.
9. Sloth, N.M., Tybirk, P., Stoltenberg Grove, S., Hougese, A.S. og Sommer, H.M. Aminosyrebehov til maksimal proteinudnyttelse hos smågrise. [Meddelelse nr. 1244](#), SEGES Innovation 2021.
10. Sloth, N.M., Krustup, A.K., Stoltenberg Grove, S., Rønving, E., Tybirk, P., Bache, J.K., og Wilken, M. Fire protein- og fem aminosyreniveauer i foder til smågrise. [Meddelelse nr. 1263](#). SEGES Innovation, 2022.
11. Sloth, N.M, P. Tybirk, J. Krogsdahl & S.E. Koziara. Aminosyrebehov til slagtesvin ved to proteinniveauer. [Meddelelse nr. 1135](#). SEGES Svineproduktion, 2018.
12. Sloth, N.M., J. Poulsen, P. Tybirk, S. Stoltenberg Grove, M.B.F. Nielsen & M. Wilkan. Syv protein- og fem aminosyreniveauer i foder til slagtegrise. [Meddelelse nr. 1262](#), SEGES Innovation, 2022.
13. Vils, E., A. Ø. Pedersen & N. Canibe. Aminosyretab I vådfoder. [Meddelelse nr. 1150](#), SEGES Svineproduktion, 2018.
14. Vils, E., N. Canibe, & H. M. Sommer. Benzoesyre hæmmer nedbrydning af frie aminosyrer i vådfoder. [Meddelelse nr. 1156](#), 2018.
15. Columbus A.D. Enteral Nitrogen metabolism in the Growing Pig. "Doctor-Thesis" University of Guelph. 2012. 147 pp.
16. Mansilla, W.D. J. K. Htoo & C. F. M. de lange. Nitrogen from ammonia is as efficient as that from free amino acids or protein for improving growth performance of pigs fed diets deficient in nonessential amino acid nitrogen. *J. Anim. Sci.* 95:3093-3102, 2017.
17. Yong, M., Xuebing H, F., Jun & J. Hongmei. Review: Role of dietary amino acids and microbial metabolites in the regulation of pig intestinal health. *Animal Nutrition* 9, 1-6. 2022.
18. Shengfa, F. L. , Feng Ji, F. Peixan & Denryter K. Swine Gastrointestinal Microbiota and effects of Dietary Amino Acids on its Composition and Metabolism. *International journal of Molecular Sciences.* 25. 1237-1261. 2024
19. Palencia, J.Y.P, M. Resende, M.A.G. Lemes, Mendes, M.F.S.A, Mendes, S.R, Junior, S., Otani, L., Schinkel, A.O, Abrea, M.L.T & V.S. Cantarelli. Relative bioavailability og L-lysine sulfate is equivalent to that of L-Lysine HCl for Nursery piglets. *J. Anim. Sci* 97:269-278. 2019.
20. Kjeldsen, N.J., S.S grove & J. Krogsdahl. Reduceret protein til smågrise reducerer diarre. [Meddelelse nr. 1203](#), SEGES Svineproduktion, 2020.
21. Kroier, M.H., Lærke, N.H., Sloth, N.M., Schönherz, A.A. & Canibe, N., 2025. The effect of protein level and essential amino acid supplementation on indicators of gut health in weaned piglets. ISEP 2025 abstract.
22. Sloth, N.M., Hansen, S.V og Pelck, J.S., 2026. Udpegning af de mest begrænsende aminosyrer til smågrise. [Meddelelse nr. 1334](#), Den rullende Afprøvning, SEGES Innovation