



Forberedelse af Vandmiljøplan III

Notat vedr. muligheder for at reducere husdyrgødningens indhold af kvælstof via fodringen

Udarbejdet af Hanne Damgaard Poulsen, Peter Lund, José A. Fernández, (alle Afdeling for Husdyrernæring og Fysiologi) og Preben Bach Holm (Afdeling for Plantebiologi), Danmarks JordbrugsForskning

Ressourcepersoner: Ole Aaes, Dansk Kvæg, Per Tybirk, Landsudvalget for Svin, Henrik Bang Jensen, Fjerkrærådet og Peter Sandbøl, Pelsdyrerhvervets Forsøgs- og ForskningsCenter

Indholdsfortegnelse

1. Indledning	3
2. Det samlede kvælstofindhold i husdyrgødning på landsplan (1985-2000)	3
3. Kvælstofindhold i foder og husdyrenes udnyttelse af det tilførte kvælstof	5
4. Fodringsmæssige muligheder for at reducere husdyrgødningens indhold af kvælstof	6
4.1. Kvægs kvælstofomsætning og –udnyttelse	6
4.2. Svins kvælstofomsætning og –udnyttelse	20
4.3. Fjerkræs kvælstofomsætning og -udnyttelse	28
4.4. Pelsdyrs kvælstofomsætning og –udnyttelse	29
5. Muligheder gennem planteforædling	29
6. Konklusion	32
7. Perspektiver	34
8. Referencer	35

Muligheder for at reducere husdyrgødningens indhold af kvælstof via fodringen

Hanne Damgaard Poulsen, Peter Lund, José A. Fernández og Preben Bach Holm
Danmarks JordbrugsForskning

1. Indledning

Kvælstof (N) er et uhyre vigtigt næringsstof i landbruget, men kvælstof kan også have uheldig indflydelse på natur og miljø. Det kan udvaskes i form af nitrat eller fordampes i form af bl.a. ammoniak, som efter nedfald kan have en uønsket miljøpåvirkning. Et væsentligt input til landbrugets kvælstofpulje kommer via fodringen. Generelt er husdyrenes kvælstofudnyttelse lav, idet husdyrene ikke kan bruge alle de aminosyrer til proteinaflejring, som de får tilført gennem foderprotein, og for drøvtyggernes vedkommende endvidere fra mikrobielt protein syntetiseret i vommen. Dette skyldes, at foderrationen ikke er i overensstemmelse med dyrets behov for de enkelte aminosyrer, og at foderet derfor ofte indeholder et overskud af aminosyrer, som efterfølgende udskilles med urin som urinstof eller i form af urinsyre (fjerkræ). Urinstof kan hurtigt omdannes til ammoniak. Derimod er omdannelsen af urinsyre væsentlig langsommere. Efterfølgende kan der ske nedfald af kvælstof, hvorved dette kvælstof også indgår i jordens kvælstofkredsløb. Husdyrgødning indeholder endvidere ufordøjet protein, mikrobiel protein mv.

Gennem fodringsmæssige tiltag er det muligt at begrænse kvælstofindholdet i husdyrgødningen og øge kvælstofudnyttelsen i husdyrbruget. Gennem de senere år er der sket en markant nedsættelse i udskillelsen af kvælstof, men det er vigtigt at fortsætte bestræbelserne på at nedbringe indholdet af kvælstof i husdyrgødning yderligere.

Notatet beskriver omsætningen af kvælstof i dyrene og mulighederne for gennem fodringsmæssige tiltag at begrænse kvælstofindholdet i husdyrgødningen med henblik på at mindske ammoniaktabet og begrænse udvaskningen af nitrat.

2. Det samlede kvælstofindhold i husdyrgødning på landsplan (1985-2000)

Udskillelsen af kvælstof med gødning og urin hos husdyr bidrager på landsplan med godt 250.000 tons kvælstof (af dyr) i år 2000. Heraf fordampes en del, og resten udbringes som husdyrgødning. Den mængde, der udbringes med husdyrgødning er faldet fra ca. 230.000 tons i 1985 til omkring 200.000 tons i år 2000 (Tabel 1). Dertil skal lægges godt 30.000 tons kvælstof, som afsættes i marken under afgræsning. I tabel 1 er vist den samlede kvælstofudskillelse i husdyrgødning samt fordelingen af kvælstof på gødning fra kvæg, svin og andre husdyr (fjerkræ, mink mv.) for perioden 1985 til 2000.

Samlet er der sket en reduktion i husdyrgødningens kvælstofindhold på omkring 12 %, selv om den animalske produktion er steget i samme periode (1985-2000). I år 2000 bidrog kvæg, svin og andet med henholdsvis 53, 41 og 6 % af husdyrgødningens kvælstofindhold. Det fremgår, at kvælstofmængden fra kvæg er faldet markant med 24 %. I samme periode er antallet af malkekøer reduceret (fra ca. 900.000 til ca. 700.000), idet mælkeydelsen pr. ko er steget, og mælkeproduktionen er reguleret gennem kvoter. For svin er kvælstofindholdet i gødningen stort set

konstant over hele perioden, hvilket er værd at bemærke, idet der i samme periode er sket en markant stigning i antallet af producerede slagtesvin fra ca. 15 til 22 mio. pr. år (Andersen et al., 2001). Samtidig er vægten på det enkelte slagtesvin ved slagtning øget (jfr. tabel 2). Andelen af kvælstof i gødning fra andre husdyrarter end kvæg og svin er i samme periode steget fra ca. 3 til 6 %. Det skal nævnes, at tallene for de enkelte år ikke afspejler forholdet mellem indholdet af NH_4 -kvælstof og total kvælstof.

Tabel 1. Beregnet kvælstofindhold i husdyrgødning for perioden 1985-2000 (Poulsen & Kristensen, 1997; Poulsen et al., 2001; Poulsen, 2002)

	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Samlet kvælstofindhold ¹⁾ :																
Ab lager	229	228	219	216	215	212	212	212	214	205	198	199	198	201	197	199
På græs	34	33	32	32	32	32	34	33	34	33	33	34	33	32	32	33
I alt	263	261	251	248	247	244	246	245	248	238	231	233	231	233	229	232
Fordelt på																
Kvæg	162	158	150	146	146	146	143	140	140	134	134	134	128	127	124	123
Svin	92	94	91	89	87	86	87	91	94	89	84	86	89	94	92	94
Andet	9	9	10	13	14	12	16	14	13	15	13	13	14	13	13	15

¹⁾ 1.000 tons

Den betydelige reduktion, der ses i det samlede kvælstofindhold husdyrgødning siden midt i 1980'erne, er hovedsageligt sket gennem fodringsmæssige tiltag samt forbedringer i fodereffektiviteten gennem bl.a. erstatning af foderprotein med industrielle aminosyrer, forbedrede fodervurderingsmetoder, foderplanlægning og –optimering, forbedret kendskab til husdyrenes protein-/aminosyrebehov, fasefodring mv. En del af reduktionen i kvælstofudskillelsen kan dog tilskrives avlsfremgang og forbedret management, hvorved fodereffektiviteten er blevet forbedret. Dette betyder f.eks. et mindre foderforbrug pr. kg produkt (kød, mælk mv.), ligesom antallet af producerede smågrise pr. årssø er steget markant siden 1985 (fra ca. 18 til 23 i 2002). Udviklingen i de enkelte husdyrkategoriens udskillelse af kvælstof fra 1985 til 2002 er vist i tabel 2.

Tabellen viser, at der er sket en markant reduktion i udskillelsen af kvælstof fra slagtesvin og smågrise, men også i soholdet er der sket en mindre reduktion i udskillelsen af kvælstof, hvilket er bemærkelsesværdigt, da antallet af producerede smågrise pr. årssø samtidig er steget med knap 30 %. Sammenlagt betyder det, at kvælstofudskillelsen pr. produceret slagtesvin er faldet fra 7,7 til 5,1 kg kvælstof svarende til en reduktion på 34 %. Stigningen i udskillelsen af kvælstof hos søer og smågrise fra 2000 til 2003 skyldes et større foderforbrug, som hos smågrise skyldes udfasningen af antibiotiske væksthjælpemidler. Hos slagtesvin skyldes stigningen en øget vægt ved slagtning. For malkekøer er kvælstofudskillelsen svagt stigende for den enkelte ko siden 1985, men samtidig er mælkeydelsen steget med 30 %. Dette medfører, at kvælstofudskillelsen opgjort pr. kg mælk er faldet med 20 % i perioden fra 1985 til 2003. For fjerkræ er der for alle kategorier også sket et fald i kvælstofudskillelsen på ca. 5-10 % i perioden 1990-2002. Over de seneste år har udskillelsen af kvælstof pr. årstæve været konstant, medens der skete et lille fald i perioden fra 1990 til 1996.

Tabel 2. Beregnet gennemsnitligt kvælstofindhold i husdyrgødning i perioden 1985 til 2002

	1985	1990	1996	2000	2002
Smågris (fravæ.-30 kg), kg/dyr	0,84	0,74	0,67	0,64	0,65
Slagtesvin (30 kg- slagtning), kg/dyr	5,1	4,8	3,28	3,15	3,25
Årsso, inkl. grise til frav., kg/dyr/år	31,9	29,3	25,7	26,6	27,4
Årsso, inkl. grise til 30 kg, kg/dyr/år	47,0	44,7	40,5	41,1	42,4
Pr. produceret slagtesvin, kg ¹⁾	7,7	6,9	5,1	5,0	5,1
Årsmalkeko, stor race, kg/dyr/år	125	134	128	127	130
Pr. kg produceret mælk, g	19,8	19,1	17,2	16,6	15,8
Slagtekyllinger, kg/1000 stk.	40,7 ²⁺⁵⁾	56,0 ³⁾	59,8 ³⁾	53,6 ²⁾	53,6 ²⁾
Årshøner (bur), kg/100 stk.	59 ⁵⁾	72,2	74,2	65,5	65,5
Årshøner (fritgående), kg/100 stk.	83	72,2 ⁵⁾	81,3	80,0	80,0
Mink, kg/årstæve inkl. hvalpe	5,2	4,9	4,6	4,6	4,6

¹⁾ Slagtevægten er steget fra 98 til 102 kg i perioden. Slagtekyllingers slagtealder: ²⁾ 40 dage, ³⁾ 42 dage, ⁴⁾ 39 dage. ⁵⁾ Den lave værdi skyldes formentlig anvendelsen af en anden model og andre forudsætninger (jfr. Laursen, 1987 og 1994).

3. Kvælstofindhold i foder og husdyrenes udnyttelse af det tilførte kvælstof

Data for mængden af kvælstof tilført med foderet og aflejret i dyrene/produkterne er anvendt som grundlag for beregning af kvælstofudskillelsen i gødningen og for beregning af kvælstofudnyttelsen. Tabel 3 viser nogle af disse nøgletal for en række husdyrkategorier (2000-niveau).

Tabel 3. Tilført kvælstof med foderet, aflejret og udskilt kvælstof samt kvælstofudnyttelsesgraden hos udvalgte husdyrkategorier i 2000 (efter Poulsen et al., 2001).

Husdyrart/-kategori	Tilført med foder, kg	Aflejret, kg	Udskilt i gødning, kg	Udnyttelsesgrad, % af tilført
1 årsso + grise til fravæning	32,1	5,5	26,6	17
1 smågris (frav.- 30 kg)	1,24	0,59	0,64	48
1 slagtesvin (30 kg-slagtning)	5,11	1,96	3,15	38
1 årsko, tung race	170	42,6	127,3	25
1 årsopdræt, tung race	42,0	5,4	36,6	13
1 ungtyr, tung race	29,7	5,4	24,3	18
1000 slagtekyllinger ¹⁾	110	56	54	51
100 æglæggende årshøner ²⁾	101/113	35,7/32,8	65,5/80,0	35/29
1 årstæve (mink),	4,53	0,33	4,2	7

¹⁾ Slagtealder 40 dage ²⁾ Konsumægshøner (bur/gulv)

Tabellen viser, at der er stor variation i udnyttelsesgraden af kvælstof, som varierer mellem 7 og 51 %. Dette kan give et fingerpeg om potentialet for forbedringer. Det fremgår, at slagtekyllinger og smågrise har den højeste udnyttelsesgrad på omkring 50 %, hvorimod den beregnede udnyttelse af kvælstof er meget lav hos mink. Det er gennemgående, at udnyttelsesgraden hos svin og fjerkræ er lavest hos moderdyrene og størst hos slagtedyrene. Hos kvæg er den beregnede udnyttelse størst hos malkekøer.

Tabellen angiver to værdier for æglæggende høner, idet foderforbrug samt mængden af producerede æg ikke er ens hos høner i bur og høner på gulv. Foderforbruget og dermed den mængde kvælstof, der tilføres med foderet, er omkring 12 % større hos fritgående høner. Samlet betyder dette, at kvælstofudskillelsen er godt 20 % højere hos en fritgående årshøne sammenholdt med en høne i bur. Samme situation ses hos søer, hvor frilandssøer har et foderforbrug, der er noget højere end søer opstaldet indendørs. Dette forhold illustrerer, at det kan være vanskeligt på samme tid at tilgodese opstaldningshensyn (dyrevelfærd) og miljø hensyn.

Reduktionen i den samlede udskillelse af kvælstof i husdyrproduktionen har medført, at ammoniakfordampningen i stald og under lagringen af husdyrgødningen er også blevet mindre. Dette svarer til en reduktion på knap 12 % fra 1985 og til 1999 (Andersen et al., 2001). Ud over tabet af ammoniak i stald og under lagring af husdyrgødningen, sker der også et tab i forbindelse med udbringningen af husdyrgødningen. Dette tab er dog blevet markant mindre siden 1985, og det samlede ammoniaktab er derfor reduceret med ca. 30 % i perioden fra 1985 til 1999 (Andersen et al., 2001). Ammoniakproblematikken behandles i en særskilt rapport (Teknologiske virkemidler til nedbringelse af næringsstofbelastningen: Undergruppe F3).

4 Fodringsmæssige muligheder for at reducere husdyrgødningens indhold af kvælstof

Som det fremgår af afsnit 2 er der siden 1985 sket en væsentlig reduktion i udskillelsen af kvælstof fra det enkelte husdyr. Denne reduktion er opnået på grundlag af betydelige ændringer i fodringsprincipper og fodringsnormer. Der er i perioden gennem forskning og forsøg etableret en væsentligt forbedret dokumentation for husdyrenes aminosyrebehov tilpasset dyrenes fysiologisk betingede behov. Dette har medført, at fasefodring (anvendelse af flere blandinger gennem produktionsperioden) er vidt udbredt i praksis (kvæg, svin, fjerkræ). En væsentlig forbedring er også fremkommet som følge af, at det er blevet muligt at erstatte råprotein med industrielt fremstillede aminosyrer, så de enkelte foderblandinger er tilpasset dyrenes behov for de essentielle aminosyrer (svin, fjerkræ). En tredje væsentlig faktor er etableringen af forbedrede fodervurderingsmetoder og -principper (kvæg, svin). Endelig bør det også nævnes, at avlsfremgang gennem forøget mælkeproduktion, forøget kuldstørrelse, forbedret foderudnyttelse mv. samt forbedret management har medført, at kvælstofudnyttelsen i den animalske produktion er steget. Med udgangspunkt i den aktuelle fodringssituation hos de enkelte husdyrarter vil afsnit 4 omhandle omsætningen af kvælstof og mulighederne og begrænsningerne for at øge kvælstofudnyttelsen og dermed reducere kvælstofudskillelsen.

4.1 Kvægs kvælstofomsætning og -udnyttelse

Drøvtyggerens udnyttelse af kvælstof er generelt lav. Således udnyttes kun ca. 25 % af den optagne mængde kvælstof hos malkekvæg i dag til mælkeproduktion (Børsting et al., 2001; Nielsen & Kristensen, 2001), hvorimod resten primært udskilles i fæces eller urin. Af det kvælstof, som ikke

aflejres i koen eller udnyttes til mælkeproduktion udskilles 50-70% i urinen, mens resten udskilles i fæces (Van Straalen, 1995). Udskillelsen af kvælstof består primært af urea i urinen fra overskud af ammoniak i vommen og ammoniak fra deaminering af absorberede aminosyrer, der bl.a. udnyttes som energikilde eller til dannelse af glukose, samt af fækalt tab af ufordøjet foderprotein, endogent protein og mikrobielt protein.

Symbiose mellem værtsdyr og mikrober

Da drøvtyggeren drager fordel af symbiosen mellem værtsdyret og vommens mikrober, er omsætning af næringsstoffer i mavetarmkanalen hos drøvtyggere betydeligt mere kompliceret end hos enmavede dyr. Drøvtyggeren kan således udnytte energi i form af flygtige fede syrer fra den mikrobielle nedbrydning af ellers utilgængelige kulhydrater (fiber). Den mikrobielle vækst kan endvidere udnytte ikke-protein-kvælstof (NPN) og danne mikrobielt protein med en god sammensætning af aminosyrer, som efterfølgende er til rådighed for værtsdyret via absorption i tyndtarmen. Den mikrobielle omsætning i formaverne er dog ikke uden omkostninger. Der sker således et betydeligt energitab i form af produktion af metan, samt en mikrobiel omsætning af næringsstoffer fra foderet, f.eks. glukose, stivelse og aminosyrer, som ellers var direkte til rådighed for dyret via absorption i tarmen. En optimal udnyttelse af kvælstof er således helt afhængig af en optimal forsyning med næringsstoffer både til den mikrobielle fermentering i vommen og efterfølgende til værtsdyret selv (Figur 1).

Unedbrudt foderprotein og mikrobielt protein

Protein fra foderet kan nedbrydes af vommens mikrober til aminosyrer som efterfølgende er til rådighed til mikrobiel proteinsyntese eller deamineres til ammoniak til rådighed for andre mikrober. De mikrobielle celler, og dermed mikrobielt protein, passerer efterfølgende ud af vommen. Alternativt passerer foderproteinets unedbrudt ud af vommen for, sammen med det mikrobielle protein, enten at blive hydrolyseret og absorberet i tyndtarmen, omsat mikrobielt i tyktarmen eller blive udskilt i fæces (Figur 1).

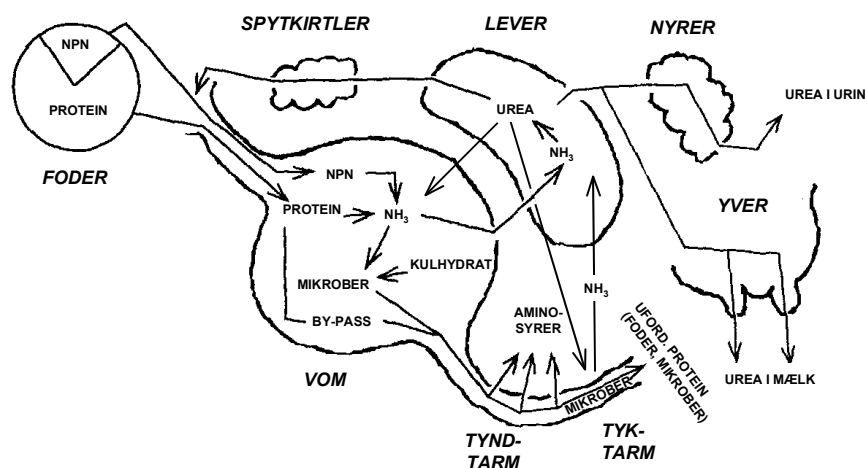
I typiske danske foderrationer vil således 20-40 % og 10-70 % af foderprotein fra henholdsvis grovfoder og kraftfoder passere unedbrudt igennem vommen (Hvelplund & Madsen, 1990). Drøvtyggeren selv forsynes således med protein (aminosyrer) både via mikrobiel syntese i vommen og via protein fra foderet, som undslipper mikrobiel fermentering i vommen. Nukleinsyrer udgør dog 15-20% af indholdet af råprotein i mikrobielt protein, og nukleinsyrer kan ikke metaboliseres, men udskilles i urinen (Chen et al., 1990). I typiske danske rationer bidrager unedbrudt foderprotein og mikrobielt protein således med henholdsvis ca. 40% og 60% af flowet af protein i starten af tyndtarmen (Hvelplund & Madsen, 1990), når der ses bort fra endogent protein. Proteinet, som er til rådighed for dyret, er således både kvantitativt og kvalitativt markant forskelligt fra det oprindelige foderprotein, og ofte er indholdet af begrænsende aminosyrer, f.eks. lysin og methionin, højere end i det oprindelige foderprotein, således at den biologiske værdi er højere. Nettoresultatet af den mikrobielle proteinsyntese i vommen, som efterfølgende er til rådighed for værtsdyret, er dog begrænset af en betydelig recirkulering af kvælstof internt i vommen. Proteolytiske bakterier og protozoer fordøjer vombakterier, og reducerer dermed mængden af mikrobielt protein til rådighed i tyndtarmen, men øger også ammoniak dannelsen i vommen. Newbold et al. (2000) fandt således, at en fjernelse af protozoer (defaunation) medførte en kraftig forøget netto mikrobiel proteinsyntese og sænkede koncentrationen af ammoniak i vommen. Denne recirkulering kan altså være ganske betydelig og menes at være et centralt punkt i de store forskelle i netto mikrobiel proteinsyntese, som ses ved forskellige fodermidler og i forskellige fodringssituationer.

Ammoniakkniveau i vommen

En optimal udnyttelse af kvælstof er helt afhængig af en optimal mikrobiel syntese i vommen, dvs. en høj udnyttelsesgrad af nedbrudt foderprotein til dannelse af mikrobielt protein, således at et betydeligt overskud af ammoniak i vommen undgås (Figur 1). Men samtidig fordrer en optimal mikrobiel syntese en vis minimal ammoniak koncentration i vommen (5-10 mg $\text{NH}_3\text{-N}/100\text{ ml}$), for at mikrobernes behov for kvælstof altid er dækket.

Mikrobiel syntese i blind/tyktarm

Udover i vommen sker der også en mikrobiel omsætning i blind/tyktarm, om end denne kvantitativt er meget mindre end omsætningen i vommen. Kvælstof i form af urea og ammoniak kan i blind/tyktarmen passere over tarmvæggen. Dette betyder, at der ved høj kulhydratforgæring i tyktarmen kan trækkes urea fra blodet til tarmen, således at udskillelsen af kvælstof flyttes fra urin til fæces. Det dannede mikrobielle protein kan dog ikke udnyttes af dyret, men udskilles i fæces (Figur 1), mens de dannede flygtige syrer kan optages og omsættes af koen. Fordelingen af kvælstof udskillelsen mellem urin og gødning vil have en afgørende indflydelse på udnyttelsen af kvælstoffet ude i marken, idet organisk bundet kvælstof fra gødningen er sværere tilgængeligt for planterne.



Figur 1 Omsætning af N i drøvtyggere. NPN = ikke-protein kvælstof

Fækalt tab

Fækalt tab af kvælstof skyldes udskillelse af ufordøjet foder N, ufordøjet mikrobielt protein fra vommen, mikrobielt dannet protein i blind/tyktarm samt endogent N fra fordøjelsesenzymer, tarmceller m.m. Den sande fordøjelighed af foderprotein er normalt høj, >90%, (Lund et al., 2003), og tilsvarende er tarmfordøjeligheden af mikrobielt protein ca. 85% (Hvelplund & Madsen, 1990). Mulighederne for en reduktion i udskillelsen af ufordøjet foderprotein og mikrobielt protein fra vommen er derfor minimale, og vil ikke medføre en betydende kvantitativ forbedring af udnyttelsen af kvælstof. Mikrobielt dannet protein i blind/tyktarm er som tidligere nævnt umiddelbart tabt, og en flytning af forgæringen fra blind/tyktarm til vommen er derfor i kombination med et lavt overskud af protein i vommen en mulighed for forbedring af udnyttelsen af kvælstof, hvis der fokuseres ensidigt på en forbedret kvælstofudnyttelse.

N i urinen og recirkulering

Der er betydelige muligheder for at sænke udskillelsen af kvælstof i urinen. Puljen af ammoniak i vommen kan henføres til nedbrudt protein og kvælstofforbindelser fra foderet, samt til hydrolyseret urea fra recirkuleringen via spyttet og over vomvæggen. Under forudsætning af tilførsel af energi, primært i form af kulhydrater fra foderet, kan dette ammoniak på ny omsættes til mikrobielt protein, mens overskuddet af ammoniak absorberes over vomvæggen til blodet, og da ammoniak er toksisk, omsættes det til urea i leveren. Dette overskud af kvælstof udskilles primært i urinen, især i form af urea og mindre mængder ammoniak, men udskilles også i mælken, eller recirkuleres tilbage til vommen via spyttet eller over vomvæggen. Udskillelsen i mælk er dog kvantitativt ubetydende, men bruges i praksis som indikator for forsyningen med protein, om end denne fremgangsmåde er forbundet med stor usikkerhed og variation. Ifølge Lapiere & Lobley (2001) udskilles ca. 1/3 af urea fra leveren i urinen, mens ca. 2/3 recirkuleres til fordøjelseskanalen. Af denne recirkulering tabes efterfølgende ca. 10% i fæces, 40% reabsorberes som ammoniak, mens 50% reabsorberes primært som aminosyrer. Hvelplund & Madsen (1995) anfører, at recirkuleringen for højtydende køer i begyndelse af laktationen kan udgøre op til 7% af optaget af protein fra foderet, men kan være betydeligt højere i lavtydende køer. Mens urea udskilt i urinen selvsagt er tabt, er recirkuleret urea til rådighed for en ny mikrobiel syntese i vommen. Man kan derfor umiddelbart undres over, hvorfor drøvtyggeren udskiller kvælstof i urinen, når muligheden for at recirkulere dette kvælstof er til stede? Dette kan skyldes, at recirkuleringen kun kan betale sig ved et midlertidigt utilstrækkeligt ammoniak niveau i vommen, idet syntese af urea fra ammoniak er energetisk kostbar. Ved overskud af kvælstof er recirkuleringen simpelthen for energetisk kostbar, idet denne ikke resulterer i en yderligere mikrobiel protein syntese, men blot i at overskud af N i form af ammoniak igen absorberes til puljen i blodet. Størrelsen og reguleringen af recirkuleringen er dog kun ringe belyst i litteraturen.

Fodermidlernes CAB-værdi (Cation-Anion-Balance) er defineret som forholdet mellem de positivt ladede natrium (Na^+)- og kaliumioner (K^+), på den ene side, og de negativt ladede klorid (Cl^-) og sulfationer (SO_4^-), på den anden side. Det er velkendt, at det er muligt at sænke pH i urinen via en sænkning af foderets CAB-værdi og ofte anvendes en lav CAB-værdi i foderet til goldkøer som en strategi for at undgå mælkefeber via en påvirkning af mineraliseringen fra knoglerne og omsætningen af calcium (Horst et al., 1997). Dette har i visse kredse rejst spørgsmålet, om det også er muligt at forsure urinen hos lakterende køer. Svaret er, at det er muligt at reducere pH i urinen hos lakterende køer via en ændret sammensætning af rationen eller via tilsætning af anioner til foderet. En række forsøg har dog vist en markant negativ effekt på koens mælkeydelse og foderoptagelse (Erdman, 1993), og Sanchez & Beede (1996) fandt, at CAB-værdien hos moderat ydende malkekøer ikke bør være lavere end 250 milliækvivalenter pr. kg tørstof og ikke højere end 500 milliækvivalenter pr. kg tørstof. Det vurderes, at en sænkning af CAB-værdien vil have en endnu større negativ effekt hos højtydende køer. Endvidere vil der være problematisk mht. koens velfærd, idet en samtidig sænkning af pH i vommen øger risikoen for en række fodringsbetingede sygdomme, såsom acidose og laminitis. Det vurderes derfor, at forsuring af urinen via fodringen hos kvæg med henblik på at begrænse ammoniakfordampningen ikke anses for at være realistisk, idet det vurderes, at risikoen for en negativ effekt på omsætningen i vommen er for stor. For at sikre optimal omsætning af foderet i vommen og mindske risikoen for en række fodringsbetingede sygdomme, kan det derimod på nogle rationer være anbefalelsesværdigt i stedet at øge fodermidlernes CAB-værdi via tilførsel af buffer til vommen (Kristensen, 2003).

PBV

Udnyttelsen af kvælstof i vommen kan defineres som resultatet af to modsat rettede omsætningsveje for protein (N): 1. Nedbrydningen af protein til ammoniak, som potentielt kan tabes i urinen og 2. Essentielle aminosyrer dannes fra NPN i foderet ved den mikrobielle syntese i vommen. I det danske proteinvurderingssystem til drøvtyggere angiver PBV (Protein Balancen i Vommen) differencen mellem mængden af foderprotein som nedbrydes i vommen og mængden af mikrobielt protein, som syntetiseres ud fra tilgængeligt energi i form af kulhydrat. PBV er dermed et udtryk for balancen på døgnniveau i vommen, dvs. om daglig forsyning med nedbrudt protein er tilstrækkelig til at opfylde mikrobernes behov. Et evt. overskud af PBV vil blive udskilt som urea i urinen. Et lavt negativt PBV niveau vil derimod resultere i en negativ effekt på produktionen, idet danske produktionsforsøg har vist, at ydelsen sænkes med 1,2 kg mælk for hver gang PBV/FE sænkes med 10 g/FE fra ca. -10 g/FE (Kristensen, 1997a). P.t. er PBV niveauet i danske foderrationer til malkekvæg i første del af laktationen i gennemsnit på 14 g PBV/FE (Kjeldsen, 2003) svarende til ca. 44 g N/ko/dag, og der er således en betydelig mulighed for at reducere dette, uden at det vil have en negativ effekt på produktionen. I praksis er det dog i dag nødvendigt at fodre med et mindre overskud af PBV i forhold til minimum. Der er nemlig betydelige variationer i fodermidlernes proteinværdi (nedbrydningsgrad i vommen, fordøjelighed m.m.), som det ikke p.t. er muligt at forudsige. Det er dog velkendt, at kortere tids mangel på kvælstof i vommen kan kompenseres for via recirkulering samt via bakterierne evne til at oplagre næringsstoffer til senere proteinsyntese, når kvælstof igen er til rådighed. PBV værdien for foderet er baseret på en dagsration og tager således ikke hensyn til manglende synkronisering indenfor døgnet. Dette er f.eks. særligt udtalt ved afgræsning, hvor kørerne optager store mængder af nedbrydeligt protein, når de er på græs, mens optaget af energi til mikroberne i form af kulhydrat fra kraftfoderet er på andre tidspunkter af døgnet, når kørerne er på stald. Dette kan give anledning til store døgnvariationer i koncentrationen af ammoniak i vommen, således at der i visse perioder er overskud, som potentielt kan udskilles i urinen, og i andre er underskud, som hæmmer den potentielle mikrobielle syntese og fordøjeligheden af cellevægskulhydraterne. Danske (Weisbjerg, 1997) og udenlandske (Holder et al., 1995; Scollan et al., 1997) undersøgelser har således vis, at henholdsvis lavt PBV niveau og manglende synkronisering mellem nedbrydning af protein og tilførsel af energi vommen øger recirkuleringen af urea tilbage til vommen.

Det er således klart, at et vigtigt indsatsområde for nedbringelse af udskillelsen af kvælstof hos drøvtyggere er nedsat udskillelse i urinen. Dette kan opnås ved øget fokus på recirkulering af urea til vommen, samt sikring af optimalt niveau af ammoniak i vommen både på rationsbasis og indenfor døgnet. PBV niveauet i foderet kan således sænkes, uden at det har en negativ effekt på produktionen. Dette er dog under forudsætning af, at der stadig er optimale forhold for den mikrobielle proteinsyntese i vommen.

AAT

Summen af aminosyrer fra foderet og fra mikrober syntetiseret i vommen, som fordøjes i tyndtarmen, betegnes AAT (Absorberede Aminosyrer i Tarmen) i det danske proteinvurderingssystem. Disse aminosyrer udnyttes efterfølgende til vedligehold, mælkeproduktion, tilvækst, foster, samt deamineres ved overskud til organiske syrer, som oxideres eller omdannes til glukose, og til ammoniak, som omsættes til urea og udskilles i urinen. Det er derfor vigtigt, at nedbrydningen af aminosyrer begrænses, således at dyret kun netop forsynes med tilstrækkelige absorberede aminosyrer til vedligehold og livsytringer, og at forsyningen af individuelle aminosyrer både kvantitativt og kvalitativt er i overensstemmelse med dyrets behov. Dette er dog under forudsætning af, at dyret kan forsynes med andre næringsstoffer til dannelse af glukose og til oxidation, hvor

aminosyrer ellers indgår. Det er således utroligt vigtigt at understrege, at udnyttelse af kvælstof ikke kun er forsyning med kvælstof og aminosyrer, men at også omsætningen af aminosyrerne er vigtig. Produktion af 40 l mælk medfører således et dagligt behov på ca. 2,7 kg glukose, samtidig med at koen kun optager meget små mængder glukose direkte over tyndtarmen, og aminosyrer kan bidrage med op til 40% af substratet til dannelsen af glukose i leveren (Danfær et al., 1995).

Kvantificering af udnyttelsen af kvælstof hos den højtydende malkeko

I nedenstående tabel (Tabel 4) er en model for den kvantitative omsætning af kvælstof præsenteret. Modellen er baseret på data fra Hvelplund & Madsen (1995), men opdateret mht. foderoptagelse og ydelse.

Udskillelsen af kvælstof i fæces er altså summen af ufordøjet foderprotein (280 g), ufordøjet mikrobielt protein (457 g) samt endogent tab (263 g). Overskudsprotein fra vommen (424 g), absorberede ikke aminosyre kvælstof (743 g), absorberet overskud af aminosyrer (482 g) samt endogent kvælstof (167 g) udskilles i urinen, hvis det ikke recirkuleres til fordøjelseskanalen. Udskillelsen af kvælstof i urin og fæces er, som det fremgår af ovenstående, afhængig af en række faktorer, som alle varierer betydeligt, afhængig af fodermiddel, foderniveau m.m. Hvelplund & Madsen (1995) fandt således, at ændringer indenfor den normale variation i ovenstående egenskaber, resulterede i, at udnyttelsesgraden til mælkeproduktion varierede fra 25 til 36%.

Tabel 4. Model for den kvantitative omsætning af kvælstof (CP = råprotein, AA = aminosyrer, PBV = Protein Balancen i Vommen, AAT = Absorberede Aminosyrer i Tarmen)

Forudsætninger	Parameter	Værdi (g CP)
Vægt = 600 kg	Indtag af CP :	4000
TS optag = 21 kg	Nedbrudt CP :	4000*0.625 = 2500
CP optag = 4000 g	Unedbrudt CP :	4000-2500 = 1500
Optag af fordøjelige kulhydrater = 11,6 kg	Mikrobielt CP :	11,6*179 = 2076
Mælkeydelse = 37 kg mælk, 3.2 % protein	PBV :	2500-2076 = 424
Tilvækst: = 0	AAT (mikrobielt) :	2076*0.70*0.85 = 1235
Nedbrydningsgrad i vommen = 62,5%	AAT (unedbrudt) :	1500*0.70*0.82 = 861
Indhold af aminosyrer i unedbrudt CP = 70%	AAT total :	1235+861 = 2096
Mikrobiel syntese = 179 g CP/kg fordøjet kulhydrat	Protein i mælk :	37*32 = 1184
Indhold af aminosyrer i mikrobielt protein = 70%	Protein til vedligehold :	600 ^{0.75} *2,2 = 267
Tyndtarmsfordøjelighed af mikrobielle AA = 85%	Endogent fæces N (vedlig.) :	8*12,5 = 100
Tyndtarmsfordøjelighed af unedbrudt protein = 82%	Endogent urin N (vedlig.) :	267-100 = 167
Tarmfordøjelighed af mikrobielt protein = 78%	Endogent fæces N (produktion) :	(21-8)*12,5 = 163
Protein til vedligehold = vægt ^{0.75} * 2,2	Totalt endogent fæces N :	100+163 = 263
Tørstof til vedligehold = 8 kg	Endogent urin N :	167
Endogent fæces N (vedlig.) = 12,5 * kg TS til vedlig.	Ufordøjet mikrobielt CP :	2076*(1-0,78) = 457
Totalt endogent fæces N = 12,5 * TS optag	Protein syntese (prod.+vedl.) :	1184+263+167 = 1614
Sand total fordøjelighed af CP = 93%	Mobilisering :	0
	AAT ikke brugt til proteinsyntese :	2096-1614 = 482
	Sand ufordøjet foder protein :	4000*(1-0,93) = 280
	Udskillelse af CP i fæces :	280+457+263 = 1000
	Absorb. ikke AA-CP (mikrobielt) :	2076-1235-457 = 384
	Absorb. ikke AA-CP (unedbrudt) :	1500-861-280 = 359
	Total absorb. ikke AA-CP	384+359 = 743
	Udskillelse af CP i urin :	424+743+482+167 = 1816
	Udskillelse af CP i urin + gødning	1000+1816 = 2816
	Udskillelse	100%*(2816/4000) = 70

Status for udnyttelsen af kvælstof

P.t. forefindes der ikke nye data, som understøtter en ændring i udnyttelsen af kvælstof hos opdræt eller hos små drøvtyggere. Hos malkekøer er der ifølge Årsrapport 2002, Dansk Kvæg, sket en betydelig ydelsesfremgang fra 7659 til 8243 kg mælk for tung race og fra 5460 til 5824 kg mælk for Jersey, mens mælkens indhold af fedt og protein stort set er uforandret i forhold til data publiceret af Børsting et al. (2001). På baggrund af et datasæt med 804 vinterfoderplaner indberettet til Kvægdatabase i perioden 15/10-31/12 2002 (Kjeldsen, 2003) ses der en svag tendens til en lavere koncentration af fordøjeligt råprotein i foderet i første afsnit af laktationen (132,3 g/FE) i vinterfoderplanerne for 2000 og 2002 (Kjeldsen, 2003) sammenlignet med 134 g fordøjeligt råprotein/FE for perioden 1996-1999 (Børsting et al., 2001). Derimod forefindes der ikke nye centralt indberettede data fra Periodefoderkontrollen, som kan understøtte en ændring i foderudnyttelsen eller i energikoncentrationen. På baggrund af dette er N-balancen pr årsko samt normaltal for udskillelsen af kvælstof af dyr hos malkekøer (enhed: 1 årsko) tabelleret i nedenstående tabel (Tabel 5a og 5b), idet der ikke er ændringer i udnyttelsen af kvælstof for kvier og tyre.

Tabel 5a. N-balance pr. årsko

	Tunge racer				Jersey			
	2000		2002		2000		2002	
	kg	%	kg	%	kg	%	kg	%
N optaget i foder	170,0	100	175,5	100	141,4	100	145,3	100
N i mælk	40,9	24	43,8	25	35,1	25	37,2	26
N i tilvækst+foster	1,7	1	1,7	1	1,1	1	1	1
N i fæces	62,2	37	66,4	38	51,4	36	54,7	38
N i urin	65,1	38	63,5	36	53,8	38	52,4	36
N i fæces+urin	127,3	75	129,9	74	105,2	74	107,0	74

Tabel 5b. Normaltal for kvælstofudskillelse (kg N) af dyr hos malkekøer

	Tunge racer			Jersey		
	1997	2000	2002	1997	2000	2002
Fæces	58	62,2	66,4	46	51,4	54,7
Urin	70	65,1	63,5	61	53,8	52,4
Total	128	127,3	129,9	107	105,2	107,0

Den samlede udskillelse af dyr er som følge af en højere ydelse og dermed også en højere foderoptagelse steget til 130 kg N for Tunge racer og 107 kg N for Jersey. Udregnes udskillelsen af kvælstof derimod pr produceret liter mælk, ses der en reduktion fra 17,2 g N/kg og 20,5 g N/kg (Kristensen et al., 1997) og 16,6 g N/kg og 19,3 g N/kg (Børsting et al., 2001) til 15,8 g N/kg og 18,4 g N/kg for henholdsvis Tunge racer og Jersey.

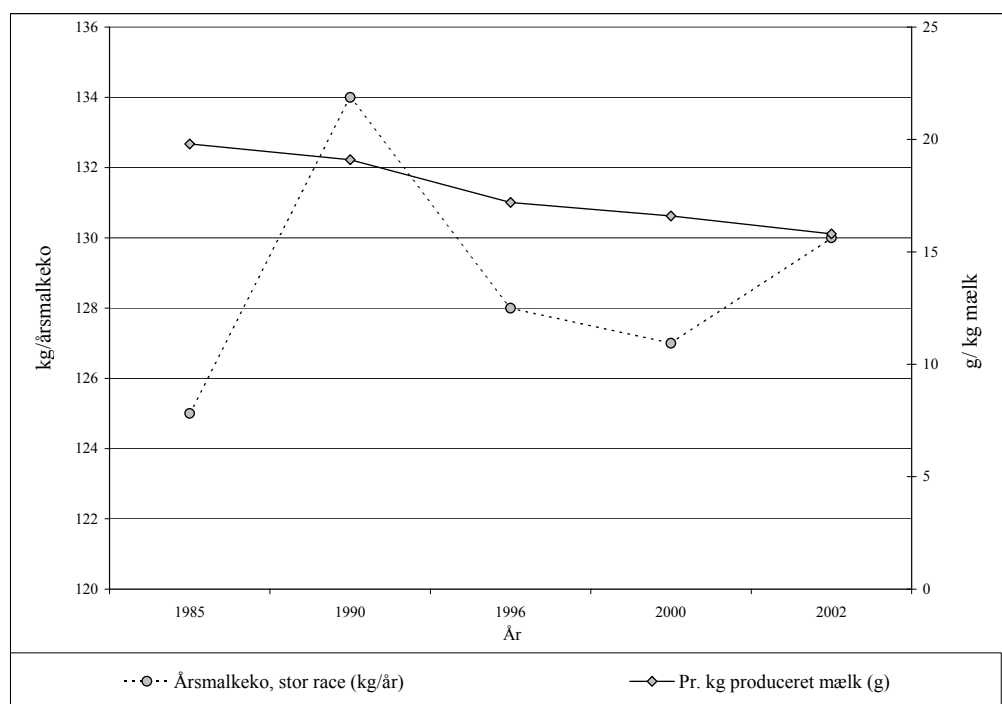
Udskillelsen af kvælstof kan korrigeres ved afvigende ydelse, fodermængde eller foder-sammensætning ved brug af følgende korrektionsfaktorer:

Tunge racer: $(([FE \text{ pr. årsko}] * [g \text{ råprotein pr. FE}] / 6250) - ([kg \text{ mælk pr. årsko}] * [proteinpct. i mælk] / 638) - 1,7) / 129,9$

Jersey: $(([FE \text{ pr. årsko}] * [g \text{ råprotein pr. FE}] / 6250) - ([kg \text{ mælk pr. årsko}] * [proteinpct. i mælk] / 638) - 1,0) / 107,0$

Figur 2 viser udviklingen i den årlige kvælstofudskillelse hos malkekøer samt udskillelsen pr. kg produceret mælk i perioden 1985-2003. Det fremgår, der har været betydelig variation i den årlige udskillelse af kvælstof. Dette skyldes, at baggrundsdata såsom mælkeydelse, foderforbrug, foderudnyttelse og indhold af kvælstof i foderet ikke har ændret sig i den samme takt igennem perioden. Derimod ses der et markant fald i kvælstofudskillelsen, når denne relateres til mælkeydelsen. Dette skyldes primært en stigende mælkeydelse igennem hele perioden, og altså ikke en lavere kvælstofudskillelse pr. årsko.

Figur 2. Udviklingen i kvælstofudskillelsen pr. malkeko og pr. produceret kg mælk i perioden 1985-2002.



Muligheder for forbedringer af udnyttelsen

I nedenstående tabel (Tabel 6) er effekten af henholdsvis lavere koncentration af protein i foderet, højere foderudnyttelse og højere mælkeydelse, samt kombinationen af disse illustreret for Tunge racer. Det fremgår af tabellen, at der er betydelige muligheder for at forbedre udnyttelsen af kvælstof via fodringen. Således vil den nuværende årlige stigning i ydelse resultere i en ydelsesfremgang til 9000 kg mælk indenfor ca. 5 år, mens det samtidig er et indsatsområde fra Dansk Kvæg at øge foderudnyttelsen. Endvidere er der fokus på at reducere proteinindholdet i foderet, især under afgræsning. På trods af en ydelsesfremgang til 9000 kg mælk er det stadig realistisk at sænke udskillelsen af kvælstof i urinen med op til 15 %, mens mulighederne for at sænke udskillelsen i gødning synes minimale. De samlede tiltag vil således sænke tabet af kvælstof fra 74,1 til 70,6% af det optagne kvælstof. Det er dog klart, at tabellen ikke er additiv i praksis. Det vil f.eks. være problematisk at hæve både ydelsen og foderudnyttelsen, da en højere ydelse normalt ledsages af en nedsat foderudnyttelse.

Tabel 6. Effekten af henholdsvis lavere koncentration af protein i foderet, højere foderudnyttelse og højere mælkeydelse, samt kombinationen af disse for Tunge racer

Parameter	Niveau	Kvælstofudskillelse (kg N pr. årsko)			Kvælstofudskillelse (g N pr. kg mælk)	Tab (% af indtag)
		Gødning	Urin	Total		
Ford. råprotein (g/FE)	1: 132,3	66,4 (100%)	63,5 (100%)	129,9 (100%)	15,8 (100%)	74,1 (100%)
	2: 130	66,3 (100%)	61,2 (96%)	127,5 (98%)	15,5 (98%)	73,7 (100%)
	3: 128	66,2 (100%)	59,2 (93%)	125,4 (96%)	15,2 (96%)	73,4 (99%)
Foderudnyttelse (%)	1: 83	66,4 (100%)	63,5 (100%)	129,9 (100%)	15,8 (100%)	74,1 (100%)
	2: 86	62,8 (95%)	61,0 (96%)	123,8 (95%)	15,0 (95%)	73,1 (99%)
	3: 89	59,6 (90%)	58,6 (92%)	118,1 (91%)	14,3 (91%)	72,2 (97%)
Ydelse (kg mælk)	1: 8243	66,4 (100%)	63,5 (100%)	129,9 (100%)	15,8 (100%)	74,1 (100%)
	2: 8500	68,5 (103%)	63,6 (100%)	132,1 (102%)	15,5 (99%)	73,8 (100%)
	3: 9000	72,7 (109%)	63,6 (100%)	136,3 (105%)	15,1 (96%)	73,3 (99%)
Niveau 1 (status p.t.)		66,4 (100%)	63,5 (100%)	129,9 (100%)	15,8 (100%)	74,1 (100%)
Niveau 2		64,7 (97%)	58,8 (92%)	123,5 (95%)	14,5 (92%)	72,5 (98%)
Niveau 3		65,0 (98%)	54,3 (85%)	119,3 (92%)	13,3 (84%)	70,6 (95%)

De danske normtal for husdyrgødning angiver gennemsnitstal for udskillelsen af næringsstoffer. Der er dog stor variation mellem besætninger i de grunddata, som danner baggrund for normtallene. Aaes (2002) beregnede udskillelsen af kvælstof i besætninger, som var rangeret efter fodereffektivitet, beregnet med udgangspunkt i data fra periodefoderkontrollen i 1998. Som det fremgår af tabel 7 har gruppen med den højeste fodereffektivitet således præsteret den samme ydelse som de to øvrige grupper, blot med et betydeligt lavere foderforbrug (800-900 FE pr. år) og uden negativ effekt på tilvæksten, snarere tværtimod.

Tabel 7. Besætninger med periodefoderkontrol i 1998 opdelt efter fodereffektivitet (Aaes, 2002)

	25 % laveste	50 % mellemste	25 % højeste
Fodereffektivitet (%)	75	82	89
FE pr. dag	18,3	17,1	15,9
Kg EKM pr. dag	21,2	21,7	21,7
Tilvækst, g pr. dag	97	97	123
N udskilt, kg pr. år	143	131	120
N udskilt, g pr. kg EKM	18,5	16,5	15,2

Som følge af den dårligere foderudnyttelse var kvælstofudskillelsen således 19 % højere for gruppen med den laveste fodereffektivitet sammenlignet med gruppen med den højeste fodereffektivitet. Dette svarer til en forskel på 23 kg kvælstof pr. år.

Forskningsmæssige indsatsområder

Der er umiddelbart to fordøjelses-fysiologiske veje for at øge aflejringen af kvælstof i kød og mælk under forudsætning af uændret produktivitet og kvælstof optagelse:

- Reduktion af direkte og indirekte tab af kvælstof i mavetarmkanalen, dvs. primært lavere niveau af PBV.
- Mere effektiv intermediær omsætning af aminosyrer, således at deamineringen mindskes, dvs. primært lavere AAT og mere optimal sammensætning af aminosyrer.

Reduktion af tab af kvælstof i mavetarmkanalen (PBV)

Det er velkendt, at mulighederne for en kvantitativ betydende sænkning af udskillelsen af kvælstof i gødningen er minimale, mens udskillelsen i urinen kan sænkes ved primært at forbedre omsætningen af næringsstoffer i vommen. Ca. 85 % af den totale udskillelse af kvælstof i urin og gødning kan henføres til perioden i de første 24 uger af laktationen. Som udgangspunkt bør PBV i rationen ude i praksis forsøges sænket fra de nuværende 40-50 g N/ko/dag og tilnærmes det teoretiske minimum på 0 g N/ko/dag for køer først i laktationen. I praksis er det dog nødvendigt at fodre med et mindre overskud af PBV for at sikre en tilstrækkelig sikkerhedsmargin i forhold i forhold til det absolutte minimum. Dette er endvidere under forudsætning af, at der ikke på noget tidspunkt af døgnet mangler tilgængeligt kvælstof, således at den mikrobielle proteinsyntese bliver begrænset, men at nedbrydning af protein og kulhydrat (energi) i vommen er synkroniseret. I afgræsningssystemer i praksis, hvor overskuddet af protein i vommen under afgræsningen om dagen er betydeligt, anbefaler Bossen et al. (2000) og Nielsen (2000) således, at PBV i suppleringsfoderet kan sænkes ned til ca. -40 g/FE afhængig af andelen af græs i rationen. I praksis er PBV dog ofte højere, og dette sker på baggrund af en formodning om en utilstrækkelig recirkulering af overskudskvælstof fra dagsrationen til natrationen. Dette resulterer i unødvendigt høje PBV værdier for den samlede ration. Danske undersøgelser af Hvelplund et al. (1999) påviste ingen negativ effekt på vomomsætningen, mens Nielsen et al. (2003) påviste en lavere mælkeydelse ved sænkning af PBV i rationen fra 17 til -17 g/kg tørstof. Overforsyning med N i form af PBV må forventes at ende som urinstof i urinen (Hvelplund & Madsen, 1995; Weisbjerg et al., 1998). En sænkning af PBV niveauet vil således reducere udskillelsen af kvælstof i urinen med 15-25%, og den totale udskillelse med ca. 10%. Modelberegninger af Kristensen (1997b) viste tilsvarende, at malkekøernes udskillelse af kvælstof kan reduceres med 20 kg ved at reducere foderrationens PBV værdi fra 15 til 0 g pr. FE i de første 30 uger af laktationen, mens Nielsen & Kristensen (2001) fandt, at en sænkning af PBV med 10 g pr. FE sænkede udskillelsen af kvælstof med 5 kg pr. årsko. Samtidig er syntesen af urinstof energikrævende, og Danfær et al. (1980) beregnede således, at udskillelse og omsætning af overskudsprotein koster ca. 0,8 FE pr. kg fordøjeligt protein, hvoraf ca. halvdelen kan henføres til det direkte tab af energi i urea. En yderligere sænkning af PBV niveauet i rationen forudsætter dog en betydelig indsats mht. til forbedring af fodermiddelvurderingen, dvs. mulighederne for at forudsige den aktuelle PBV værdi af en given ration i en given fodringssituation ud fra karakteristika ved foderet mere præcist end det er tilfældet i dag, men også at vi opnår yderligere viden om størrelsen og reguleringen af den mikrobielle proteinsyntese samt dyrets intermediære omsætning af kvælstof. Dette vil sikre, at PBV kan være negativ, uden at det har en negativ effekt på produktionen, og dermed udnyttelsen af kvælstof pr. produceret kg mælk.

Under forudsætning af en betydelig forskningsmæssig indsats på dette område og på baggrund af de nuværende forskningsmæssige resultater er det i teorien muligt at sænke PBV niveauet til 0 g/FE (Kristensen, 1997a, Børsting et al., 2003), hvilket vil sænke den totale udskillelse af kvælstof for køer først i laktationen med op til 10%. I praksis er det dog stadig nødvendigt at ligge over minimumsværdien som følge af usikkerhederne omkring bestemmelse af fodermidlernes proteinværdi.

Varmebehandling

Foderets proteinværdi kan øges vha. varmebehandling. En varmebehandling beskytter proteinet mod nedbrydning i vommen, hvilket er ønskeligt i en situation med overskud af protein i vommen (positiv PBV). Samtidig øges mængden af unedbrudt foderprotein, som er til rådighed for absorption af aminosyrer i tarmen, og dermed øges også foderets AAT værdi. En overbeskyttelse af proteinet vil dog medføre at det bliver ufordøjeligt i tarmen, og dermed tabes i gødningen. Varmebehandling anvendes i dag primært til proteinrige kraftfodermidler, men har også vundet indpas som en metode til at øge proteinværdien af kornvarer. Varmebehandling af foderet kan dog have negativ indflydelse på fordøjeligheden og dermed udnyttelsen af fosfor.

Mere effektiv intermediær omsætning af aminosyrer

Som følge af nedbrydningen af foderprotein og den efterfølgende mikrobielle syntese i vommen er der stor forskel på sammensætningen af aminosyrer i foderet og sammensætningen af aminosyrer tilgængelige for absorption i tyndtarmen. En optimal forsyning med aminosyrer skal kun netop dække dyrets behov for de enkelte aminosyrer til produktion (mælk, foster, tilvækst) og vedligehold. Det nuværende system til vurdering af en rations proteinværdi opererer dog kun med en kvantitativ tilførsel af totale aminosyrer, mens Misciattelli & Hvelplund (2001) på baggrund af en sammenligning mellem flow af protein i tyndtarmen og ideal-protein til produktion og vedligehold, identificerede histidin, leucin, lysin og methionin som de mest begrænsende enkelt aminosyrer i forskellige foderemner. Den først begrænsende aminosyre er ofte forskellig fra fodermiddel til fodermiddel, og modelberegningen af Hvelplund (1997) viste, at for kornprodukter som byg, havre og majs er lysin den første begrænsende aminosyre, leucin er den først begrænsende aminosyre i rapsskrå, fiskemel og græs, mens methionin er den først begrænsende aminosyre til mælkeproduktion i sojaskrå. Det danske proteinvurderingssystem indeholder allerede nu muligheden for at inddrage individuelle aminosyrer (Misciattelli et al., 2002a), og der er lavet nye anbefalinger for den økonomisk optimale tildeling af AAT fra en række enkeltaminosyrer, bl.a. lysin og methionin (Misciattelli et al., 2002b). En forudsigtelse af, hvilke aminosyrer som er begrænsende, afhænger dels af et korrekt estimat for dyrets behov for de enkelte aminosyrer, dels af den potentielle absorption, som igen afhænger af foderets sammensætning af aminosyrer, aminosyrernes nedbrydningsgrad i vommen og størrelsen af den mikrobielle syntese. En udvidelse af protein-vurderingssystemet til ikke kun at basere tildelingen af foder på forsyning med totale mængder tyndtarmsfordøjelige aminosyrer, men også til at indbefatte forudsigtelse af forsyningen med individuelle aminosyrer, og især histidin, leucin, lysin og methionin, vil medføre en markant højere udnyttelsesgrad, idet overskuddet af ikke-begrænsende aminosyrer, som nedbrydes, mindskes, og udvidelsen vil derfor resultere i en lavere udskillelse via urinen. I situationer, hvor dyret er i negativ energibalance, f.eks. tidligt i laktationen, vil forsyningen med andre glukogene substrater være utilstrækkelig til at opfylde behovet til mælkeproduktion, og samtidig medgår aminosyrer til energiforsyningen. Potentialet for at øge udnyttelsen er derfor ikke kun en forsyning med aminosyrer til netop at dække dyrets behov for de enkelte aminosyrer til produktion, men begrænses af et behov for at aminosyrer nedbrydes.

I ovenstående modelberegninger for den kvantitative omsætning af kvælstof blev det godtgjort, at ud af en total mængde absorberede aminosyrer på 2096 g protein, blev 1347 g protein udnyttet til produktion, 267 g protein til vedligehold, mens 482 g protein ikke blev udnyttet til proteinsyntese og udskilt i urinen, hvilket umiddelbart svarer til, at 23% af de absorberede aminosyrer blev tabt. Dette tab skyldes delvist en ikke optimal sammensætning af individuelle aminosyrer i forhold til behov, men også et sandsynligt behov for aminosyrer til dannelse af glukose i glukoneogenesen og til oxidation. Den reelle mulighed for at reducere tabet af kvælstof fra absorberede aminosyrer er derfor betydeligt mindre, men stadig meget svært at kvantificere, og afhængig af produktionsniveau og sammensætning af rationen, men fra 1-50% af glukose synes at stamme fra aminosyrer, som enten er absorberede eller mobiliserede (Danfær et al., 1995). Rationer med et højt indhold af fedt, med en mikrobiel omsætning som primært resulterer i dannelse af eddikesyre på bekostning af propionsyre, samt med en meget lav absorption af glukose fra tyndtarmen, som er fodret til køer i negativ energibalance og med høj ydelse resulterer sandsynligvis i det højeste behov for aminosyrer til dannelse af glukose i glukoneogenesen.

Simuleringsmodeller

En forbedret udnyttelse af optagne næringsstoffer (f.eks. kvælstof) tager udgangspunkt i en forbedret beskrivelse af de enkelte fodermidlers værdi, og samspillet mellem næringsstofferne. Det nuværende fodervurderingsystem til drøvtyggere er baseret på to separate systemer, nemlig et energi-vurderingssystem (Foderenheder, FE_k , Weisbjerg & Hvelplund, 1993) og et protein-vurderingssystem (AAT/PBV, Hvelplund & Madsen, 1990). Disse systemer forudsætter imidlertid additivitet, dvs. at værdien af foderet beregnes som summen af bidrag fra de enkelte fodermidler, men denne additivitet er tvivlsom i praksis, især på et højt foderniveau. "Karoline" (Danfær, 1997) er en dynamisk, mekanistisk heldyrsmode af lakterende køer, som forudsiger koens fordøjelse af næringsstoffer, mælkeydelse og udskillelse af næringsstoffer i gødning og urin. Karoline vil i fremtiden blive brugt til at simulere effekten af en række fodringmæssige tiltag på udnyttelsen af kvælstof.

I nedenstående tabel (Tabel 8) er effekten af en ændring i PBV og AAT niveau i rationen forsøgt simuleret. Ændring i foderets PBV værdi er opnået ved at tage udgangspunkt i en ration med et lavt PBV niveau. Rationen består af rapsskrå med en lav nedbrydning af protein og byg og majsensilage, som er proteinfattige fodermidler med et højt indhold af energi (kulhydrat). PBV er efterfølgende øget ved tilsætning af henholdsvis 100 g og 200 g urea. Ændringer i foderets AAT værdi er opnået ved at ændre på proteinets nedbrydningsgrad i vommen. En lavere nedbrydningsgrad medfører en højere AAT værdi, da mængden af foderprotein til rådighed for absorption i tarmen øges. Som det fremgår af tabellen er PBV værdierne forudsagt af modellen højere end tabelværdierne. På det forudsagte PBV niveau (17-40 g PBV/kg tørstof) vil en sænkning af PBV ikke medføre et nævneværdigt fald i udskillelsen af N i mælk. Endvidere ses det, at udskillelse i gødning er konstant, mens den øgede mængde N i foderet ved tilsætning af urea direkte tabes i urinen, hvorfor N-udnyttelse falder ved øget PBV niveau. En sænkning af PBV niveauet i dette interval medførte altså ikke en lavere N-udskillelse i mælk, men en lavere N-udnyttelse. En beskyttelse af proteinet fra nedbrydning i vommen havde en mindre indflydelse på omsætningen af kvælstof end variationen i PBV, om end en lavere nedbrydningsgrad medførte et fald i udskillelsen af N i urin, og en svag stigning i udskillelsen i gødning og i mælk. Generelt blev N-udnyttelsen dog forbedret ved en beskyttelse af proteinet mod nedbrydning i vommen.

Tabel 8. Rationer, hvor kvælstof balancen (g N/dag) og N-udnyttelsen til mælkeproduktion (%) er simuleret vha. ”Karoline”. PBV og AAT niveau er vist både som tabelværdier og som forudsagt af modellen. Forskel i PBV niveau er fremkommet ved tilsætning af urea til en ration med et lavt PBV niveau. Forskel i AAT er fremkommet ved sænke proteinets nedbrydningsgrad i vommen.

Tabelværdier	PBV niveau (g/kg tørstof)			AAT niveau (g/kg tørstof)		
	-13	2	17	81	88	95
Modelværdier	17	28	40	89	93	96
Ration (kg tørstof)	Byg (5,5) Rapsskrå (4,2) Majsensil. (9,7)	Byg (5,5) Rapsskrå (4,2) Majsensil. (9,7) Urea (0,1)	Byg (5,5) Rapsskrå (4,2) Majsensil. (9,7) Urea (0,2)	Byg (5,5) Rapsskrå (4,2) ¹ Græsensil. (9,7)	Byg (5,5) Rapsskrå (4,2) ² Græsensil. (9,7)	Byg (5,5) Rapsskrå (4,2) ³ Græsensil. (9,7)
N _{foder}	495	541	587	613	613	613
N _{gødning}	144	145	146	132	134	138
N _{urin}	200	242	284	330	325	318
N _{mælk}	159	161	162	161	165	166
N _{tilvækst}	-7	-7	-6	-9	-9	-9
N-udnyttelse	32,1	29,7	27,7	26,2	26,7	27,1

¹ Rapsskrå med høj nedbrydningsgrad i vommen (91 g AAT/ kg tørstof; 228 g PBV/kg tørstof)

² Rapsskrå med medium nedbrydningsgrad i vommen (124 g AAT/ kg tørstof; 189 g PBV/kg tørstof)

³ Rapsskrå med lav nedbrydningsgrad i vommen (157 g AAT/ kg tørstof; 150 g PBV/kg tørstof)

Afgræsning

Sammenlignet med staldfodring opfattes afgræsning ofte, men måske lidt fejlagtigt når der sammenlignes med løsdrift, som forbundet med højere dyrevelfærd og lavere udnyttelse af kvælstof i koen. Protein i grovfoder har ofte en høj nedbrydningsgrad i vommen, og især frisk græs har ofte et højt indhold af let nedbrydeligt protein. Det kan derfor være vanskeligt at undgå overforsyning med kvælstof, selv om der suppleres med fodermidler med lavt indhold af kvælstof. Ønsket om afgræsning kan derfor resultere i høje PBV niveauer i vommen, og deraf følgende udskillelse af kvælstof i urinen. Samtidig afsættes der en betydelig mængde urin og gødning i græsmarken, som ikke opsamles i gødningslageret til rådighed til udbringning. Det er således klart, at ved øget græsoptagelse stiger udskillelsen af kvælstof af dyr, men modelberegninger (Aaes & Thøgersen, 2003) har vist, at hvis forfrugtsværdien af det afgræssede græs indregnes så vil tabet af kvælstof være minimalt, hvis afgræsningstiden holdes på ca. 1 time pr. FE. En reduceret tid på afgræsning vil endvidere medvirke til, at en større del af gødning og urin kan opsamles på stald, og samtidig reduceres tilførslen af N til græsset, hvilket sænker N niveauet i græsset og øger udnyttelsen af græsmarken som følge af mindre mængde busk- og vraggræs. Med stadig større besætninger, og flere køer i løsdriftstalder vil færre køer i fremtiden dog komme på græs.

Kristensen et al. (1997) fandt, at udskillelsen af N ved en gennemsnitlig græsoptagelse på 4 FE pr ko pr dag er på samme niveau ved sommer- og vinterfodring, og Børsting et al. (2001) konkluderer, at under hensyntagen til det nuværende omfang af afgræsning svarer den på baggrund af vinterfodringer fastlagte norm for udskillelse af kvælstof til udskillelsen under afgræsning. En høj græsoptagelse, som f.eks. på økologiske brug, blev af Kristensen et al. (1997) estimeret til at resultere i en øget udskillelse af kvælstof på 7,4 kg N pr. årsko, mens data fra studielandbrug (Nielsen & Kristensen, 2001) indikerer en mer-udskillelse på op til 22 og 10 kg N pr. årsko for henholdsvis Tunge racer og Jersey, om end der er stor usikkerhed på opgørelserne. Ønsket om en stor foderoptagelse under afgræsning, kan dog kombineres med en rimelig udnyttelse af kvælstof og minimeret tab af gødning og urin i marken, hvis der kan udvikles afgræsningssystemer, hvor

afgræsningen er intensiv, dvs. hvor tiden på græs primært bruges til foderoptagelse og ikke til hvile og motion.

Virkemidlernes forventede effekt

I 2010 forventes det, at mælkeydelsen stiger til ca. 9.000 kg mælk for tung race, hvilket betyder, at malkekobestanden forventes at blive reduceret med op mod 70.000, idet mælkeproduktionen er styret gennem kvote. Samtidig vurderes, at det lykkes dels at forbedre fodereffektiviteten til 89% (hvilket svarer til fodereffektiviteten for de 25% af besætningerne, som aktuelt har den højeste fodereffektivitet (jf. tabel 7)) og dels at reducere indholdet af fordøjeligt protein i rationen fra ca. 132 til 126 g/FE via de skitserede fodringsmæssige tiltag vedr. PBV og AAT niveau. Sammenlagt vil det resultere i en samlet kvælstofudskillelse på 123 kg kvælstof pr. årsko. Dette svarer til en reduktion på 7 kg i forhold til normtal for 2002, og en forbedring af udnyttelsen af kvælstof fra 26 til 29 %. Antages det derimod, at der ikke sker forbedringer i foderudnyttelsen og at indholdet af protein i foderet forbliver uændret, vil en stigning i ydelsen til 9000 kg mælk resultere i, at udskillelsen vil stige til ca. 136 kg kvælstof pr. årsko. En forventet sænkning i bestanden af årskøer vil medføre en sænkning i bestanden af opdræt. Hvis antallet af årsopdræt reduceres tilsvarende, vil dette resultere i en reduktion i kvælstofudskillelsen på 2.800 tons (1,1 opdræt/årsko (LR, 2003), 37 kg/årsopdræt (Børsting et al., 2001)), hvortil kan lægges et yderligere bidrag fra en reduktion i antallet af ungtyre. Bidraget fra ungtyrerne er dog meget svært at estimere, da produktion af ungtyre er helt afhængig af de fremtidige tilskudsregler, men et samlet bud på reduktion via færre fødte kalve estimeres til ca. 3.500 tons N.

Konklusion og forskningsbehov

- En optimal udnyttelse af kvælstof er helt afhængig af en optimal forsyning med næringsstoffer både til den mikrobielle fermentering i vommen og efterfølgende til værtsdyret selv.
- Mulighederne for reduktion i udskillelsen af N i gødning er minimale, mens der er betydelige muligheder for via fodringen at sænke udskillelsen af N i urin.
- En optimal mikrobiel proteinsyntese i vommen er central. Med fokus på recirkulering af kvælstof og døgnvariationer i ammoniak niveau i vommen, er der dog store muligheder for at reducere PBV niveauet i rationen, og dermed sænke udskillelsen af kvælstof i urinen uden at ydelsen falder. En sænkning af PBV niveauet til det teoretiske minimum på 0 gram pr. FE vil således reducere udskillelsen af kvælstof i urinen med 15-25%, og den totale udskillelse med maksimalt 10% for højtydende køer.
- Forsyningen med individuelle aminosyrer skal både kvantitativt og kvalitativt være i overensstemmelse med dyrets behov, og dette vil yderligere sænke dyrets totale behov for aminosyrer. Det er svært at vurdere, hvor stor en effekt en opdatering af proteinvurderingssystemet til individuelle aminosyrer vil have på udskillelsen af kvælstof, men det vurderes, at dette tiltag vil kunne sænke udskillelsen med 5-10 % for højtydende køer.
- Der er behov for udvikling af nye metoder til mere præcis bestemmelse af fodermidlernes proteinværdi i praksis
- Simuleringsmodeller er fremtidens værktøj til forudsigelse af effekten af fodringsmæssige tiltag på udnyttelsen af kvælstof.

- Den betydelige variation i kvælstofudnyttelse mellem besætninger viser, at der er et betydeligt potentiale i praksis for at forbedre udnyttelsen af kvælstof. Dette stiller store krav, dels til rådgivningen, dels til et generelt forbedret management på bedriften.
- Der er behov for udvikling af nye redskaber som erstatning for Periodefoderkontrollen til sikring af indsamling af data fra praksis vedr. status for udnyttelsen af kvælstof.

4.2 Svins kvælstofomsætning og -udnyttelse

Kvælstof udgør - sammen med kulstof, brint og ilt – de vigtigste grundstoffer i protein og aminosyrer. Et svin med en levende vægt på ca. 100 kg indeholder ca. 17 % protein, mens somælk indeholder ca. 6 % protein. Protein er bygget op af aminosyrer, og foderstoffernes proteiner er de eneste naturlige aminosyrekilder. Aminosyrerne er nødvendige til opbygning af proteiner i svinekroppen, hovedsageligt i musklerne, og til erstatning af proteintabet. Dette tab sker dels i form af urinstof fra nyrene i forbindelse med de metaboliske processer i kroppen (vedligeholdelsesbehov) og dels for at erstatte kvælstoftabet i form af celler, aminosyrer, andre kvælstofholdige forbindelser og uabsorberede enzymer fra fordøjelsessekreter som udskilles med fæces (endogent tab). Lysin, methionin og cystin, treonin, tryptofan, leucin, valin, histidin, isoleucin, samt fenylalanin og tyrosin kan ikke dannes af dyret selv og skal derfor tilføres specifikt med foderet. Samlet benævnes disse aminosyrer derfor som livsnødvendige (essentielle). Derudover er der andre aminosyrer, som grise kan danne fra andre N-forbindelser eller fra andre aminosyrer. Disse benævnes ikke-livsnødvendige (ikke-essentielle) aminosyrer, men som ikke desto mindre skal tilføres med foderet i form af en mængde protein, som er mindst lige så stor som mængden af livsnødvendige aminosyrer. I tabel 9 er vist protein- og aminosyreindholdet i en række almindelige foderstoffer til svin (Just et al., 1983).

Tabel 9. Indholdet af protein og essentielle aminosyrer i en række almindelige foderstoffer

	Byg	Hvede	Sojaskrå	Rapsskrå	Fiskemel LT
Tørstof, %	86,3	86,0	87,9	88,2	92,8
Protein, g/kg tørstof	126	147	500	423	779
Proteinfordøjelighed, %	73	84	85	72	92
Aminosyrer, g/kg tørstof:					
Lysin	4,3	3,9	30,7	22,2	60,0
Methionin	2,1	2,2	7,3	8,6	22,0
Cystin	2,7	2,9	7,4	10,1	7,0
Treonin	4,1	4,0	19,2	18,1	32,0
Tryptofan	1,5	1,5	8,0	6,0	6,9
Valin	6,2	6,2	24,9	21,3	42,2
Leucin	8,7	9,7	38,8	29,7	56,5
Histidin	2,6	3,2	9,6	11,1	17,8
Isoleucin	4,5	5,2	23,4	16,9	35,6
Fenylalanin	6,2	6,7	24,9	16,1	29,6
Tyrosin	3,8	4,4	18,7	12,7	24,9

Foderstoffernes proteiner har ikke den samme aminosyresammensætning, som findes i grisekroppen. Ved en passende blanding af forskellige foderstoffer, forsøger man at sammensætte

foderproteinet således, at det ligner grise Kroppens mest muligt. Dertil kommer, at foderets proteiner omdannes, før det bliver aflejret i musklerne. Begge processer er langt fra perfekte og har som konsekvens, at foderets protein kun bliver udnyttet i ringe grad (ca. 30-40 %).

Foderets kvælstof (råprotein) bliver fordøjet og absorberet i form af aminosyrer. Værdier for fordøjelighed og absorption af aminosyrer i tyndtarmen (=ileum; ileal fordøjelighed) anses for at være det bedste mål for den mængde af aminosyrer, der er tilgængelig for grisens livsytringer (Just et al., 1981).

Udnyttelsen af foderets protein afhænger derfor af indholdet af ileal fordøjelige aminosyrer i foderet. Desuden afhænger udnyttelsen af, om de livsnødvendige aminosyrer findes i et indbyrdes forhold, som passer til svinets behov for erstatningsprotein (til vedligehold) og for protein til produktion (vækst, mælk mv.). Den mængde foderprotein, som lige netop stemmer overens med aminosyresammensætningen i svinets proteinbehov, benævnes idealprotein (tabel 10). Foderprotein udover idealprotein bliver ikke udnyttet til vækst og vedligehold men omdannes i nyrerne til urinsyre og udskilles med urinen. Da de mest almindelig foderstoffer kun indeholder små mængder af nogle af de livsnødvendige aminosyrer, er det nødvendigt at tilføre unødigt store mængder protein for at kunne matche svinets behov for de enkelte livsnødvendige aminosyrer. Disse aminosyrer, af hvilke lysinet er den mest fremtrædende, benævnes som 1., 2., 3., osv. begrænsende aminosyre afhængig af, hvilken af dem der er mest begrænset set i forhold til svinets behov. I praksis vil denne rækkefølge oftest være 1. lysin, 2. methionin, 3. threonin, 4. tryptofan 5. valin 6. leucin (se tabel 10).

Tabel 10. Aminosyrebehov hos slagtesvin (30-100 kg). A: fodringsnorm (g standardiseret ileal fordøjeligt aminosyre pr. FEs)¹⁾; B: ideal protein (g aminosyre pr. 100 g protein); C: ideal protein (g aminosyre pr. 100 g lysin); D: aminosyreindholdet i en byg (81 %)/sojaskråblanding (17 %) udtrykt i g standardiseret ileal fordøjeligt aminosyre pr. FEs, og E: relativ til slagtesvins behov (=D/A) for ideal protein.

Aminosyre	A	B	C	D	E
Lysin	7,4	5,7	100	6,3	85
Methionin	2,2	1,7	29,7	2	91
Methionin+cystin	4,3	3,3	58,1	4,4	102
Treonin	4,7	3,6	63,5	4,5	96
Tryptofan	1,4	1,1	18,9	1,6	114
Isoleucin	4,3	3,3	58,1	5,6	130
Leucin	8,5	6,5	114,9	9,2	108
Histidin	2,7	2,1	36,5	3,2	119
Fenylalanin	4,5	3,5	60,8	6,5	144
Fenylalanin+ tyrosin	8,6	6,6	116,2	11,1	129
Valin	5,4	4,2	73,0	6,5	120
Råprotein, min.	130	100	-	130	-

Ileal fordøjeligt protein = fordøjelighed af protein målt ved afslutningen af tyndtarmen

¹⁾ Landsudvalget for Svin, 2002b

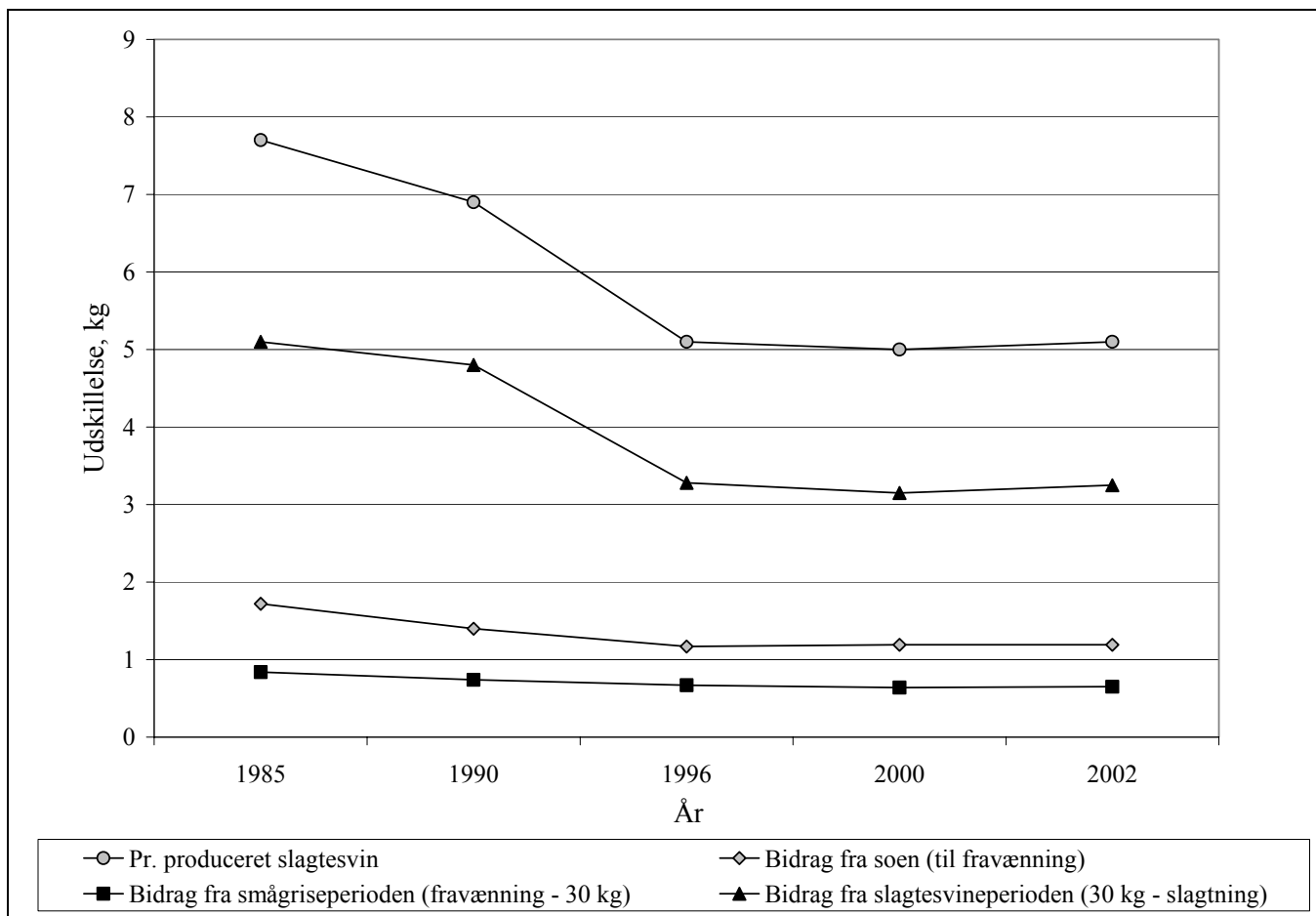
Dette forhold har bevirket, at der er udviklet et marked for specialiserede industrielle produkter, som indeholder de første 4 aminosyrer i ren bestand. Således er der for tiden mulighed for at købe lysin, methionin, treonin og tryptofan, som er industrielt fremstillet. Disse produkter er dyrere end almindelige foderstoffer, og deres anvendelse øger derfor foderprisen, til gengæld kan man reducere blandingens proteinindhold i det omfang, som disse aminosyrer kompenserer for de førømtalte begrænsninger i foderstofferne. Det er eksperimentelt vist, at et foder som er beriget med frie aminosyrer fører til en bedre foder- og proteinudnyttelse og en markant reduceret N udskillelse (Boisen et al., 1999).

Tabellen viser, at for den skitserede foderblanding (byg/sojaskrå) vil den 1. begrænsende aminosyre lysin kun dække 85 % (E) af behovet (A). Konsekvensen er, at der kun kan udnyttes 85 % af det tilførte fordøjelige protein, og som følge heraf vil der forlods udskilles ca. 20 g protein i urinen pr. forbrugt FE. Det fremgår endvidere, at den 2. og 3. begrænsende aminosyre er henholdsvis methionin og treonin, hvorimod alle andre aminosyrer er i overskud. Tilsætning af industrielt fremstillet lysin og treonin (og nok også methionin) vil kun delvis reducere proteintabet med urin. En yderligere reduktion kan opnås ved at tilføre de 3 industrielle aminosyrer samtidig med, at man reducerer proteinmængden, indtil den 4. begrænsende aminosyre er lig behovet (leucin=100).

Udviklingen i kvælstofudskillelsen pr. produceret slagtesvin

Udviklingen i svinegødningens kvælstofindhold i årene 1985 – 2002 er illustreret i figur 3. Figuren er fremstillet på baggrund af data for normtallene for husdyrgødningens indhold af kvælstof (jfr. afsnit 2). Figuren viser, at der siden midt i 80'erne er sket en betydelig nedgang i kvælstofudskillelsen pr. produceret slagtesvin. Det fremgår endvidere af figuren, at der er sket en nedgang i bidraget fra soperioden på 33 %, fra smågriseperioden på 22 % og fra slagtesvineperioden på 36 %. Sammenlagt betyder det en nedgang i kvælstofudskillelsen på 34 %. Samtidig er svins vægt ved slagtning steget fra ca. 95 til 102 kg siden 1985.

Figur 3. Udviklingen i kvælstofudskillelsen pr. produceret slagtesvin i perioden 1985-2003. Den gennemsnitlige vægt ved slagtning er samtidigt steget fra ca. 95-100 kg i løbet af perioden.



I tabel 11 er opstillet et regnskab vedrørende kvælstofomsætning i den praktiske svineproduktion for året 2001.

Tabel 11. Kvælstofregnskab over forbrug, udnyttelse og udskillelse i forbindelse med produktionen af slagtesvin. Gennemsnitlige produktionsresultater i 2001

	Forbrug	Udnyttelse	Udskillelse
	N i foder	N i produktet	N i gødning og i urin
Pattegris (0-7,5 kg)	1512	244	1268
Smågrise (7,5-30 kg)	1257	585	672
Slagtesvin (30-100 kg)	5118	1960	3158
Total	7887	2791	5097
%	100	35	65

Anvendte forudsætninger for beregningerne:

Pattegris: beregnes ud fra foderforbruget for en årssø, der 1) producerer 23,5 grise; 2) har en tilvækst på 60 kg med 25 g N/kg; 3) har et årligt forbrug på 1480 FEs indeholdende 24 g N/FEs; 4) pattegrisen indeholder 24 g N/kg.

Smågrise: forbrug på 47,8 FEs indeholdende 26,3 g N/FEs, heraf aflejres 26 g N/kg levende tilvækst.

Slagtesvin: forbrug på 202,3 FEs indeholdende 25,3 g N/FEs, heraf aflejres 28 g N/kg levende tilvækst

Kilder: Landsudvalget for Svin, 2002a; Poulsen et al., 2001

Kvælstofudskillelsen via urin og fæces

Hovedparten af kvælstoffet, der udskilles via fæces, stammer fra ufordøjet protein. Typisk fordøjes omkring 80 % foderets proteinindhold, hvilket betyder, at ca. 20 % passerer ufordøjet og udskilles med fæces. Proteinfordøjeligheden afhænger dog af foderets sammensætning. I praksis ligger proteinfordøjeligheden lidt over 80 % i foder til smågrise, medens den ligger under 80 % i foder til drægtige søer, hvor fiberindholdet er forøget, da der af velfærdsmæssige grunde ofte fodres med et fyldende foder (Poulsen et al., 2001). Kvælstofbidraget fra urinen udgøres af fordøjet kvælstof, der ikke bruges til aflejring. Hos slagtesvin og smågrise udskilles knap 70 % og hos søer ca. 75 % af kvælstoffet via urin (Poulsen et al., 2001). Effekten af ændret fodringspraksis på reduktionen af kvælstofudskillelsen forventes at fordele sig med ca. 75 % i urinen og ca. 25 % i den faste gødning. Det er ikke for nuværende realistisk at forøge den proteinets fordøjelighed væsentligt gennem f.eks. tilsætning af f.eks. enzymer.

Muligheder for at reducere kvælstofudskillelsen via fodring

Mulighederne for at reducere kvælstofudskillelsen hos svin blev i 1997 indgående belyst ved at beregne konsekvenserne af ændringer i de enkelte udvalgte produktionsfaktorer (Fernández, 1997). Det blev vist, at for slagtesvins vedkommende er de mest betydende faktorer indholdet af protein i foderet og foderudnyttelsen (FEs/kg tilvækst), idet 10 % reduktion i foderprotein eller 10 % forbedring af foderudnyttelsen kunne i begge tilfælde medføre en reduktion i N-udskillelsen på 15 %. Disse faktorer er i høj grad afhængige af hinanden, og deres samlede effekt på kvælstofudskillelsen er derfor ikke additiv.

Realistiske scenarier kan genereres ud fra variationerne i produktionen blandt de landbrugsbedrifter som er med i effektivitetskontrolprogrammet (Landsudvalget for Svin, 2002a). Svinebedrifterne kan - på grundlag af deres dækningsbidrag - grupperes i de bedste 25 % henholdsvis de dårligste 25 %. De gennemsnitlige produktionsresultater fra disse 2 grupper samt gennemsnittet for alle bedrifter er angivet i tabel 12. Der foreligger ikke oplysninger om, hvorvidt der er velfærdsmæssige forskelle mellem de tre typer af besætninger.

Tabel 12. Produktionsresultaterne i svinebedrifterne i 2001. Gennemsnit af alle bedrifter i effektivitetskontrollen samt af de bedste 25 % henholdsvis de dårligste 25 % (vurderet ift. dækningsbidraget).

Produktionsfaktor	Gennemsnit af		
	Alle	Bedste 25%	Dårligste 25%
Foderforbrug pr. produceret gris til 30 kg, FEs	105	94	119
Antal producerede grise pr. årssø	22,7	25,7	19,3
Foderforbrug pr. årssø inkl. pattegrise til 7,5 kg, FEs	1441	1461	1389
Foderforbrug (smågrise 7,5-30 kg), FEs/gris	50	44	56
Tilvækst (smågrise 7,5-30 kg), g/dag	415	436	409
Tilvækst (slagtesvin 30-100 kg), g/dag	824	871	769
Foderudnyttelse (slagtesvin), FEs/kg tilvækst	2,89	2,68	3,13

På grundlag af produktionsresultaterne vist i tabel 12 er kvælstofudskillelsen beregnet for henholdsvis alle bedrifter, bedste 25 % og dårligste 25 %. De beregnede værdier er vist i tabel 13.

Tabel 13. Beregnede kvælstofudskillelse i bedrifterne i E-kontrollen i henhold til deres produktions-resultater i 2001 (vurderet ift. dækningsbidraget).

	Kvælstofudskillelse i urin og gødning, kg pr. gris		
	Alle	Bedste 25%	Dårligste 25%
Pattegris (0-7,5 kg)	1268	1198	1301
%	100	95	103
Smågrise (7,5-30 kg)	672	606	864
%	100	90	129
Slagtesvin (30-100 kg)	3158	2792	3590
%	100	88	114
Total	5097	4596	5755
%	100	90	113

Som det fremgår af tabel 13, findes det største potentiale for kvælstofreduktion ikke overraskende i en forbedring af produktionsresultaterne hos de dårligste bedrifter. Selv om de viste forskelle skyldes summen af påvirkninger af flere faktorer, er det værd at fremhæve især de perspektiver, der er i at øge daglig tilvækst og dermed foderudnyttelsen hos slagtesvin i de dårligste bedrifter. Potentialet for kvælstofreduktion er her illustreret af forskellen mellem de bedste og de dårligste svarende til 23 %-enheder eller godt og vel 1 kg mindre kvælstofudskillelse pr. produceret slagtesvin (100 kg levende vægt). Det kan nævnes, at der også i bl.a. svineproduktionen i Holland og Frankrig ses stor spredning i kvælstofudskillelsen som følge af forskelle i produktionseffektivitet mv. (Peet-Schwering et al., 1999; Dourmad et al., 1999).

Flere fodringsmæssige tiltag kan medvirke til, at dette potentiale bliver udnyttet:

- *Anvendelsen af større præcision i foderformulering og –kontrol* med henblik på at opnå korrekt kvantitativ og kvalitativ forsyning af livsnødvendige aminosyrer i hele produktionsforløbet. Dette indebærer kemiske analyser i nødvendigt omfang for at sikre at foderets faktiske næringsstofindhold svarer til det forventede.
- *Optimering af foderets sammensætning* således at næringsstofforsyningen tilpasses dyrenes skiftende behov igennem produktionsforløbet ved at anvende forskellige foderblandinger, der lige netop opfylder det aktuelle behov (fasefodring).

For soholdets vedkommende opereres i de nuværende gødningsnormer med én foderblanding til hele reproduktionsforløbet. Med andre ord, søerne bliver ofte fodret med én og samme blanding både i gold- og drægtighedsperiode som i laktationsperiode. Dette til trods for, at i de nuværende normer for næringsstoffer for svin anbefales 2 blandinger med et kvælstofindhold på minimum 19 og 22 g/FEs for henholdsvis drægtige og lakterende søer (Landsudvalget for Svin, 2002b). Hvis kvælstofudskillelsen i pattegriseproduktionen angivet i tabel 12 genberegnes således, at der i stedet for én blanding med 24 g kvælstof/FEs anvendes 2 blandinger, hvor der antages at 2/3 af FEs bruges i drægtighedsperioden, så vil dette alene reducere kvælstof-udskillelsen med ca. 244 g kvælstof pr. produceret pattegris på 7,5 kg, svarende til en reduktion på 19 %.

For slagtesvin er det eksperimentelt vist, at kvælstofudskillelsen kan reduceres ved at anvende 2-3 blandinger i stedet for 1 (Boisen et al., 1991). Test af fasefodring i produktionsforsøg i praksis har

vist, at det er muligt at reducere kvælstofudskillelsen med 5 % uden tab i produktivitet. Forsøg med større kvælstofreduktion har dog givet faldende produktivitet.

- *Adskilt fodring af galte og sogrise.* Det er velkendt, at sogrise udnytter foderet bedre end galte. Årsagen er galtenes større appetit, som resulterer i en større tilvækst men også mindre protein- og større fedtaflejring. Skønsomt er foderudnyttelsen hos sogrise ca. 3 % bedre end hos galte. Det skal nævnes, at de gældende fodringsanbefalinger er et gennemsnit af behovet til henholdsvis sogrise og galte. En genberegning af kvælstofudskillelsen hos slagtesvin (vist i tabel 10) viser, at når foderudnyttelsen forbedres med 5 %, resulterer det i en reduktion i kvælstofudskillelsen på ca. 9 %. Det er derfor muligt at opnå en bedre udnyttelse af foderets protein ved at fodre galte og sogrise separat, men der mangler eksperimentel erfaring for at kunne formulere en optimal fodringsstrategi.
- *Reduktion i foderets proteinindhold under samtidig tilsætning af frie aminosyrer.* Det er i indledningen allerede omtalt, at overskudsprotein i foderet hovedsageligt skyldes, at visse livsnødvendige aminosyrer kun findes i forholdsvis begrænsede mængder i almindelige foderstoffer. Tilstrækkelig forsyning med f. eks. lysin medfører nødvendigvis et relativt stort indhold af ikke livsnødvendige aminosyrer og dermed også et overskud af kvælstof (se tabel 9). Tilsætning af industrielt produceret fri lysin, methionin, treonin og tryptofan er nu økonomisk muligt. Derved reduceres aminosyremængden, som tilføres med almindelige foderstoffer, uden at grisenes vækst forringes, indtil den næste livsnødvendige aminosyre kommer i underskud i forhold til svinets behov. På denne måde kan man opnå en højere udnyttelse af foderproteinet. Dette medfører tillige en bedre foderudnyttelse i form af kg foder pr. kg tilvækst, hvilket betyder en ekstra reduktion i N-udskillelsen.

Produktionsforsøg med slagtesvin har vist, at en reduktion i foderets proteinindhold på knap 5 % ved tilsætning af frie aminosyrer resulterede i en forbedring af foderudnyttelsen på knap 5 %, hvilket overført til produktionsgennemsnittet, som er vist i tabel 11, resulterer i en samlet reduktion i kvælstofudskillelsen på ca. 16 % (Nielsen, 1995; Fernández, 1999). Dette indikerer, at der er et uudnyttet potentiale ved sammensætning af foder til slagtesvin. Udnyttelsen af dette potentiale i praksis kræver dog en præcis næringsstofforsyning, hvilket indebærer en stram kontrol af råvarernes kemiske sammensætning, en estimering af energi- og aminosyre tilgængelighed samt en verificering af, at foderblandingen rent faktisk indeholder de tilsigtede mængder næringsstoffer.

Forsøget viste også, at under optimale produktionsomstændigheder (som på en forskningsinstitution) kan kvælstofudskillelsen ved produktionen af en standard gris fra 30–100 kg reduceres til under 2 kg. Aminosyretildelingen i dette forsøg var den absolut mindste uden at kompromittere produktion, sundhed og velfærd (Fernández, 1999).

Yderligere reduktion i foderets kvælstofindhold uden forringelse af produktionen forudsætter, at der kan tilsættes frit leucin og valin, men det skal nævnes, at disse aminosyrer indtil videre ikke kan købes og tilsættes foderet. Det efterfølgende scenarium er derfor ikke realistisk for praksis, men det kan beregnes, at kvælstofindholdet i foderet til slagtesvin teoretisk kan reduceres fra det nuværende 25,3 g/FEs til 16-18 g/FEs ved tilsætning af frie aminosyrer inklusive leucin og valin. I så fald ville kvælstofudskillelsen kunne reduceres til ca. 1,4 kg/produceret svin. Yderligere reduktion ville medføre en utilstrækkelig forsyning med ikke-livsnødvendige aminosyrer. Som nævnt er det ikke muligt at købe industrielt fremstillet leucin og valin, og om dette vil blive muligt vides ikke.

Det vurderes, at ændringer i foderets sammensætning foretaget med henblik på at reducere kvælstofudskillelsen ikke har negative indvirkninger på dyrenes velfærd. Snarere tværtimod, idet tiltaget sigter mod at reducere foderets indhold af kvælstof og samtidig forbedre proteinets kvalitet, således at indholdet af aminosyrer er i bedre overensstemmelse med dyrets behov. For drægtige og gølge søers vedkommende kan det forventes, at ændringer i fodersammensætning med henblik på at forbedre trivsel (forøget mæthed/sfornemmelse) kun i ringe grad vil påvirke det totale kvælstoftab. Foderændringerne tilvejebringes nemlig ofte ved at inkludere fiberrige foderstoffer med lav forgærlighed (fra kornarter, solsikke eller raps) eller med høj forgærlighed (fra soja, ærter, lupin eller sukkerroe). Afhængig af hvilken type fibre det drejer sig om, vil den største effekt være, at fordelingen mellem fækal- og urinekskretion af kvælstof ændres. Dette under forudsætning af, at fordøjeligheden af foderets protein ikke samtidig forringes ved f. eks. at erstatte sojaskrå med rapsskrå eller solseskrå. Ligeledes kan et højt proteinindhold være uheldig for mavesundheden hos smågrise, hvilket er forstærket af ophør af brugen af antibiotiske vækstfremmere. Her vil et reduceret proteinindhold være til gavn for dyrets sundhed. Det skal dog nævnes, at det underforstås, at dyrene ikke underforsynes med protein og aminosyrer i forhold til deres behov, idet direkte underforsyning i sig selv kan medføre nedsat sundhed og vækst og dermed nedsat velfærd. Det kan nævnes, at udfasningen af antibiotiske vækstfremmere gav anledning til, at foderforbruget steg, hvorved udskillelsen af kvælstof også blev forøget.

Reduktion i ammoniakfordampning via tilsætning af syresalte til foderet

Urin-kvælstof er den største kilde til den totale kvælstofudskillelse fra husdyrproduktionen. En væsentlig del af denne udskillelse overføres til omgivelserne i form af forskellige kvælstofholdige gasser, hvoraf ammoniak mængdemæssigt er den vigtigste. Ammoniakfordampningen kan reduceres ved blandt andet at ændre dyrenes syre-base balance ved tilsætning af syre eller syresalte til foderet (Canh et al., 1998). Det er påvist, at tilsætning af myresyre til smågrisefoder har en positiv virkning på produktionen, som er på højde med det, der opnås ved brugen af antibiotiske vækstfremmere. Desuden forøger myresyretilsætning den ileale fordøjelighed af aminosyrer hos unge svin. Forsøgsresultater fra udlandet tyder på, at erstatning af foderkridt med enten CaSO_4 , CaCl_2 eller Ca-benzoate kan formindske ammoniakfordampningen med henholdsvis 30, 33 og 54% (Canh et al., 1998). Et ældre dansk forsøg har vist, at foderets fordøjelighed ikke blev påvirket ved tilsætning af syre henholdsvis base. Derimod blev pH i både gødning og urin påvirket (Fernandéz et al., 1978). Formålet med et andet forsøg med søer var at undersøge effekten, når søerne fik foder med forskellig elektrolytbalance (normal og reduceret). I forsøget blev foderkridt erstattet af calciumklorid og magnesiumsulfat, og foderet blev givet i dieperioden. Forsøget viste, at urin fra søer, der fik reduceret elektrolytbalance, havde en lavere pH-værdi (5,2 mod 6,7). Samtidig var pattegrisenes vægt ved fravæning dog signifikant mindre, når søerne fik foder med reduceret elektrolytbalance (Sørensen, 2002). Forsøget viser, at erstatning af kridt med andre calciumkilder påvirker urinens pH, men at det kan have uheldige fysiologiske sideeffekter.

Virkemidlernes forventede effekt

Kvælstofudskillelsen ved produktion af slagtesvin kan reduceres ved følgende specifikke tiltag:

- ca. 240 g mindre N-udskillelse pr. produceret pattegris á 7,5 kg ved anvendelse af en drægtigheds- (19 g N) og en diegivende blanding (22 g N) i stedet for en enhedsblanding (24 g N). N-udskillelsen/årsso (23,5 grise) kan dermed nedbringes fra 27,2 til 21,5 kg N
- ca. 350 g N mindre udskillelse pr. produceret slagtesvin (30-100 kg) ved at reducere foderproteinet med 5 % under samtidig tilsætning af frie aminosyrer. Dette svarer til en reduktion af N tabet fra 3,25 til 2,90 kg produceret svin. Hertil kommer effekten af reduceret foderforbrug.

Potentialet for reduktionen i kvælstofudskillelsen fra svineproduktionen er bedst illustreret af den faktiske forskel, der eksisterer mellem de bedste 25 % og de dårligste 25 % af besætningerne (tabel 12). Den samlede kvælstofudskillelse ved produktion af et standardsvin til slagtning er mere end 1 kg mindre i de bedste besætninger sammenlignet med de dårligste. Realisering af dette potentiale forudsætter, at der fokuseres på forholdene i den enkelte besætning frem for den fortsatte anvendelse af standard normtal (fodringsanbefalinger).

Ydermere forudsættes, at der praktiseres præcisionsfodring i form af hensigtsmæssige strategier til kontrol af foderets indhold af total og af tilgængelig aminosyrer og energi gennem analyser.

- En målrettet indsats i besætningerne med henblik på en generel forbedring af produktionsforholdene kombineret med minimering af proteinindholdet i foderet kan medføre en generel reduktion i kvælstofudskillelsen i svineproduktionen på ca. 20 %.

Det vurderes, at udskillensen af kvælstof sammenlagt kan reduceres med 8.000 tons/år i 2010.

Forskningsbehov

- Separat fodring af galte og sogrise. Behov for forskningsindsats med henblik på at opnå eksperimentel erfaringer til at formulere en fodringsstrategi der medfører en bedre udnyttelse af foderets protein.
- Indsats vedr. svins aminosyrebehov og mulighederne for yderligere erstatning af råprotein med industrielle aminosyrer.
- Fodervurdering
- Fasefodring (anvendelse af flere tilpassede blandinger end der praktiseres nu)
- Tilsætning af syresalte og syre til slagtesvinefoder. Systematiske undersøgelser med henblik på at klarlægge hvorvidt tilskud af syresalte/syre:
 - 1) Har en kvantitativ effekt på N og P omsætning hos voksende svin
 - 2) Påvirker svinenes produktion og almen tilstand
 - 3) Påvirker kødkvalitetssegenskaber og produktsikkerhed
 - 4) Har en kvantitativ effekt på NH₃-produktion og fordampning i staldbygningerne

4.3 Fjerkræs kvælstofomsætning og -udnyttelse

Kvælstofudnyttelsen hos slagtekyllinger ligger på 51 %, medens udnyttelse hos årshøner ikke overstiger 35 % men afhænger af produktionssystem, idet høner i bur henholdsvis fritgående har en udnyttelse af kvælstof på 35 henholdsvis 29 % (jfr. tabel 3). Udskillelsen har været konstant over de seneste år, hvilket indiker, at der ikke via fodringen kan reduceres meget mere. Dette skal sammenholdes med, at anvendelse af fasefodring (anvendelse af flere tilpassede foderblandinger i løbet af produktionsperioden) allerede er vidt udbredt, og at det er standard at erstatte råprotein med industrielt fremstillede aminosyrer som lysin og methionin (Poulsen et al., 2001; Jensen, personlig meddelelse). Potentialet for at nedbringe udskillelsen af kvælstof fra fjerkræproduktionen via fodringsmæssige tiltag vurderes derfor som begrænset. Det skal dog nævnes, at en eventuel forbedring i foderforbruget (via avlsfremgang, management mv.) også vil medføre en reduktion i kvælstofudskillelsen. Som tidligere nævnt vil en ændring i produktionssystem for æglæggende høner i retning af flere fritgående høner have betydelig indflydelse på kvælstofudskillelsen, idet udskillelsen fra fritgående høner er markant højere sammenlignet med høner opstaldet i bur (jfr. tabel 3). Det vurderes, at knap 60 % af konsumægshønerne er opstaldet i bure, medens de

resterende godt 40 % udgøres af skrabeægshøner, økologiske og fritgående høner (Poulsen et al., 2001).

Konklusionen er, at potentialet for at nedbringe kvælstofudskillelsen er meget begrænset i fjerkræproduktion på kort sigt. Forbedringer vil dog kunne ske, hvis det bliver muligt bl.a. at producere andre essentielle aminosyrer udover de allerede kendte. Dette forudsætter en forskningsmæssig indsats.

4.4 Pelsdyrs kvælstofomsætning og -udnyttelse

Kvælstofudnyttelsen hos mink er meget lav (beregnet til 7 % jfr. tabel 2), hvilket skyldes, at foder til mink har et højt proteinindhold, især gennem laktationen (Fink, 2001). Da proteinomsætningen er energikrævende, vil proteinoverskud i foderet medføre dels udskillelse af overskudskvælstof og en forringet energiudnyttelse. Forsøg med reduceret proteintildeling til diegivende minktæver har vist, at proteinindholdet i foderet kan reduceres, uden at produktiviteten blev nedsat (Fink, 2001). I forsøgsfoderet med lavt proteinindhold var en stor del af fiskeaffaldet erstattet af byg og sojaskrå. Forsøget viste, at selv ved det reducerede proteinindhold var tævernes proteinbehov til mælkeproduktion mv. dækket. Forsøgene viser, at der er et betydeligt potentiale for at reducere proteinindholdet i foder til pelsdyr, og det vurderes, at der på lidt længere sigt vil kunne anvendes mere optimale aminosyreprofiler til de forskellige vækstperioder. I vækstperioden opereres der i dag kun med en aminosyreprofil, men det vurderes, at det kan komme på tale at indføre op til 4 forskellige profiler, som svarer til 4 forskellige vækstfaser (Sandbøl, personlig meddelelse). Der savnes dog forskningsmæssig dokumentation for fastlæggelse af de nævnte aminosyreprofiler, men kan de etableres, vil indførelse af fasefodring også være muligt i pelsdyrproduktionen. Dette vil medføre en reduktion i kvælstofudskillelsen fra pelsdyrproduktionen.

Konklusionen er, at forsøg har dokumenteret, at der er et betydeligt potentiale for at nedbringe kvælstofudskillelsen fra mink gennem ændringer i foderets sammensætning. Reduktionen i kvælstofudskillelsen vil dog kræve væsentlige ændringer i forhold til den traditionelle fodersammensætning. Et forbedret kendskab til dyrenes behov for aminosyrer i de forskellige vækstfaser må også forventes at medføre muligheder for at reducere kvælstofudskillelsen på mellemlangt og langt sigt. Der forudsættes en forskningsmæssig indsats.

5 Muligheder gennem planteforædling

Den biologiske årsag til den mangelfulde proteinudnyttelse

Byg og hvede er primære foderstoffer i den danske husdyrproduktion. Begge kornarter er udmærkede stivelseskilder, men de har en række andre ernæringsmæssige mangler i form af en ikke optimal aminosyresammensætning (jfr. tabel 9), et lavt indhold af fedtstoffer og ringe biotilgængelighed af mineraler bl.a. fosfor.

Den ikke optimale aminosyresammensætning i byg og hvede skyldes de såkaldte prolaminer, lagerproteiner, der typisk udgør 50 % af den totale proteinmængde. Disse prolaminer har et for lavt indhold af essentielle aminosyrer, primært lysin og threonin, set ud fra et ernæringsmæssigt synspunkt, hvorimod der er et for højt indhold af aminosyrerne prolin og glutamin. Det ville også være ønskværdigt med et højere methioninindhold. Den samlede effekt af disse ubalancer er, at der for det første må suppleres med andre proteinkilder med en bedre aminosyresammensætning eller mikrobielt fremstillet lysin og threonin og syntetisk fremstillet methionin. For det andet er dyrene ikke i stand til at udnytte de store mængder glutamin og prolin. Disse nedbrydes, og kvælstoffet

udskilles i urinen. Der er således et unødvendig stort kvælstofindhold i urinen grundet en ikke optimal foder-/aminosyresammensætning.

Andre foderafgrøder har andre typer af ubalancerede aminosyresammensætninger. I majs er den primære mangel lysin og tryptofan, i raps lysin og methionin, mens methioninmangel er det største problem i ærteblomstrede afgrøder, inklusive soja (jfr. tabel 9).

Planteforædlingsmæssige og bioteknologiske tiltag for at forbedre foderstoffernes proteinsammensætning

Der har været udført en omfattende forskning med det formål at forstå mekanismerne bag proteinsammensætningen i foderafgrøderne. Ligeledes har der været en omfattende forædlingsaktivitet, og inden for de seneste 10-15 år har gensplejsning været anvendt med det formål at forbedre aminosyresammensætningen. Resultaterne af denne forædlings- og forskningsindsats beskrives som følger.

Konventionel forædling

Majs

I 1963 lykkedes det forskere ved Purdue Universitetet i USA ved hjælp af mutationsforædling at fremstille en majs med et højt lysinindhold. Efterfølgende er det vist, at den ansvarlige mutation var i genet Opaque 2, et regulatorisk gen, der indvirker på en række mekanismer i majs-kernen, herunder lysinbrydningen. Resultatet af mutationen var, at syntesen af prolamin lagerproteiner blev reduceret, mens andre proteinfraktioner med en ernæringsmæssigt bedre sammensætning blev fremmet. Den oprindelige mutant var imidlertid agronomisk inferior og med en blød frøhvidetekstur.

Efter en mangeårig forædlingsindsats, hvor man introducerede to såkaldt modificerende gener, nåede man i slutningen af 90'erne frem til en majssort, der er karakteriseret ved 55 % mere tryptofan, 30 % mere lysin og 38 % mindre leucin. Reduktionen af sidstnævnte muliggør dannelsen af mere niacin. Der er et højere calcium og kulhydratindhold og bedre caroten-udnyttelse. Den biologiske værdi af proteiner, der refererer til mængden af absorberet kvælstof nødvendig for at sikre de essentielle aminosyrer, er for normal majs 45 % men 80 % for høj-lysin majs. I sidstnævnte kan 74 % af proteinet udnyttes, hvorimod kun 37 % kan udnyttes i den almindelige majs. Sygdomsresistensen er lig så god som hos andre anvendte sorter og udbyttet er tilsvarende (Prasanna et al., 2001).

Majsen, der betegnes som Quality Protein Maize (QPM), er primært udviklet til dyrkning i tropen for anvendelse som menneskeføde. En ensidig kost baseret på majs fører til "kwashiorkor", en sygdom, der primært ses hos børn, og er karakteriseret ved opsvulmning af maven, skællet hud og spinkle lemmer. Ifølge WHO forårsager denne proteinmangel næsten halvdelen af de 10 mio. dødsfald årligt af børn under fem år.

Denne majstype blev i 2000 dyrket i tropen på omkring en million hektar og forventes i 2003 at blive dyrket på 3,5 mio. hektar.

Fodringsværdi

Der har været en tilsvarende interesse, primært i USA, for at udvikle en fodermajs med en lignende balanceret aminosyresammensætning. Fodringsforsøg med sorter indeholdende den oprindelige Opaque 2 mutation har konsistent vist, i såvel én- som flermavede dyr, at man kan klare sig med

mindre tilsætning af andre proteiner, og at der er et bedre foder – vækst forhold.

Der er ligeledes en mindre protein udskillelse i gødningen og en tilsyneladende bedre optagelse af aminosyrer som angivet i Tabel 14.

Tabel 14. Gødningens indhold af protein og aminosyrer

Gødning	Protein (%)	Lysin (%)	Tryptofan (%)	Methionin (%)
Høj-lysin majs	2,37	0,07	0,02	0,06
Alm. majs	6,83	0,10	0,08	0,12

Kilde: Crows Hybrids Corn Company (http://www.crowsrsch.com/research_abstract.htm)

Dyrkningsarealet for disse typer af majs er i USA i størrelsesordenen 100.000 ha. En del sorter angives at have normalt udbytte, mens andre udviser en mindre udbyttereduktion.

Byg

Høj-lysin typer er også identificeret i ris, men forædlingsindsatsen har udover i majs primært været rettet mod byg. Der er identificeret en række mutanter, som har et forøget indhold af lysin og threonin og en reduktion i prolin og glutamin. Som i majs skyldes disse ændringer en nedgang i mængden af prolaminer og en stigning i syntesen af andre lagerproteiner med en ernæringsmæssigt mere balanceret aminosyresammensætning. Den mest anvendte mutation betegnes som *lys 3a*. Som i majs giver disse mutationer også ændringer i frøhviden og en markant udbyttereduktion

Via en målrettet forædlingsindsats er det lykkedes at fremavle sorter med et væsentligt bedre udbytte, men udbyttet er stadig i størrelsesordenen 10 % lavere end i de konventionelle sorter. En række fodringsforsøg har vist byggenes egnethed som fuldfoder. Det er i denne sammenhæng særlig relevant, at kvælstofindholdet i urinen er reduceret med 10-20 % efter fodring med høj-lysin byg (Munck, 1992).

Methionin

Det er trods en omfattende konventionel forædlingsindsats ikke lykkedes at opnå markante forøgelser i methioninindholdet i de ærteblomstrede planter.

Gensplejsning af planter for en forbedret aminosyresammensætning

Et stort antal forskningsprojekter har været rettet mod at forbedre vore kulturplanters proteinsammensætning. I kornsorterne har disse aktiviteter været rettet mod forøgelse af lysin og threonin, i raps mod lysin og methionin og i de ærteblomstrede har en forøgelse af methioninindholdet været målet.

Der har været anvendt en række forskellige strategier:

- Ændring af planternes aminosyresynteseveje
- Blokering af lagerproteinsyntesen for derigennem at fremme syntesen af proteiner med en bedre ernæringsmæssig sammensætning
- Indsættelse af gener, der giver ophav til proteiner med en ernæringsmæssigt rigtig aminosyresammensætning

Alle tre strategier synes at være realistiske. Ændringer af syntesevejens egenskaber har i en række tilfælde ført til prototyper med et markant forbedret lysinindhold. En majs forædlet for et højt fedtindhold blev gensplejset for forbedring af lysinindholdet. Denne majs (6,21% fedt; 0,408% lysin) viste markant bedre fodringsmæssige egenskaber end en normal majs (5,97% fedt; 0,289% lysin) (O'Quinn et al., 20009. Raps indeholder to forskellige lagerproteiner, napin og cruciferin. Napin har en væsentlig bedre aminosyresammensætning end cruciferin. Hæmning af cruciferinsyntesen ved hjælp af gensplejsning førte til en stigning i napin-mængden og dermed i en forøgelse af cystein, lysin og methioninindholdet med henholdsvis 32, 10 og 8% (Kohno-Murase et al., 1995).

Gensplejsning for fremme af syntesen af bestemte proteiner med en bedre aminosyresammensætning synes at være den enkleste strategi. I privat regi er der udviklet en række prototyper, men endnu er ingen af disse kommercialiseret. Sojabønner med et forbedret methioninindhold synes at være langt fremme i udviklingen ligesom hvede med en forbedret aminosyresammensætning.

Grovfoder

Ud fra et fodringsmæssigt synspunkt vil det, som tidligere nævnt, være ønskværdigt med et lavere proteinindhold i fodergræsserne for at undgå overforsyning med kvælstof. Samtidig er der et ønske om et højere indhold af lettilgængeligt kulhydrat for at kunne øge energioptaget. Her er der særlig fokuseret på de såkaldte fruktaner, kæder af letomsættelig fruktose, der oplagres i græssernes stængler og bladskeder. En lang række gensplejsningsforsøg har været udført med det formål at forøge fruktansyntesen i græsser, korn og majs men uden den store succes (Cairns, 2003). Forsøgene tyder på, at man endnu ikke har den fulde forståelse af fruktanernes funktion såvel som mekanismerne bag fruktanomsætningen i planter. Ligeledes er det endnu ikke muligt at overskue, hvilke sammenhænge der er mellem protein- og fruktanomsætningen, og hvilke mekanismer der styrer den. Der er en omfattende forskning på dette basale område, herunder i dansk regi i det såkaldte DAFGRI projekt (Danish Functional Genomics Research Initiative for Improving Feed Quality and Disease Resistance in Grasses and Cereals, see www.dafgri.dk)

Fremtidig forskning

For nærværende udvikler den genetiske viden sig meget hurtigt, og det er nu muligt at vurdere langt mere komplicerede sammenhænge end tidligere muligt. Samtidig er der en hurtig udvikling indenfor simple screeningsteknikker, såkaldt NIR og NIT teknikker, der vil gøre det langt hurtigere og billigere at vurdere den ernæringsmæssige sammensætning. Det er altovervejende sandsynligt, at denne viden vil blive anvendt i de kommende år til udvikling af nye plantesorter med en forbedret aminosyresammensætning ved hjælp af konventionelle teknikker eller gensplejsning.

6 Konklusion

Den samlede kvælstofudskillelse fra husdyr er reduceret med 12 % siden 1985, selv om den animalske produktion er steget. Mælkeproduktionen er uforandret og reguleret gennem kvoter. Derimod er mælkeydelsen pr. ko steget med ca. 30 %, hvilket har medført et markant fald i antallet af malkekøer. Sammenlagt er der i perioden sket et fald i kvælstofudskillelsen hos kvæg på 24 %. I samme periode er antallet af producerede slagtesvin steget fra ca. 15 til godt 22 mio., men dette har kun medført en stigning på ca. 2 % i kvælstofudskillelsen. Årsagen hertil er, at der pr. produceret slagtesvin er sket et fald på godt 30 % i kvælstofudskillelsen fra 1985 til 2002. Reduktionen i det enkelte dyrs kvælstofudskillelse er hos både kvæg og svin hovedsageligt sket i perioden fra 1985 og

indtil 1996. Hos fjerkræ og mink er der også sket en reduktion i kvælstofudskillelsen, og hos disse husdyr skete ændringerne også inden år 2000.

Husdyrenes kvælstofudnyttelse varierer både mellem dyreart og indenfor dyreart og ligger på 7-51 %. Den største udnyttelsesprocent ses hos slagtekyllinger og den laveste hos minktæver. Generelt har slagtedyr den bedste udnyttelse.

Som nævnt er kvælstofudskillelsen fra det enkelte husdyr faldet markant, hvilket er sket gennem fodringsmæssige tiltag (erstatning af protein med industrielle aminosyrer, forbedrede fodringsanbefalinger herunder anvendelse af fasefodring, forbedrede fodervurderingssystemer mv.). Samtidig er der også sket avlsmæssig fremgang, således at produktiviteten er steget, og foderforbruget er faldet. Dette har også haft stor effekt på husdyrenes kvælstofudnyttelse.

Kvælstofudskillelsen sker både via urin og via den faste gødning, men generelt udskilles den største andel via urin. Det fækale tab udgøres hovedsageligt af ikke fordøjet protein, som typisk udgør mindre end 20 % af kvælstofindtaget. Potentialet for at reducere kvælstofudskillelsen ligger derfor i at forbedre udnyttelsen af det kvælstof (aminosyrer), der er absorberet, hvilket gennemføres ved at tilpasse foderets aminosyreindhold mest muligt til husdyrenes aktuelle behov.

Forbedringer i kvælstofudnyttelsen fordrer både bedre teoretisk viden gennem forskning og forsøg men også, at denne viden implementeres i praktisk landbrug. Erfaringerne viser dog, at dette sker. En forudsætning for forbedret kvælstofudnyttelse hos husdyr er bl.a.:

- sikkert kendskab til aminosyrernes omsætning og dyrenes fysiologiske behov for protein/aminosyrer
- forbedrede fodervurderingssystemer til sikring af krav til foderets indhold og værdi af protein og aminosyrer
- mulighed for erstatning af råprotein med industrielt fremstillede aminosyrer
- god management og forbedret kendskab til status for kvælstofudnyttelsen i praksis
- fortsat avlsfremgang

For alle husdyr vil avlsfremgangen komme løbende til udtryk gennem forbedret produktivitet.

Kvæg. For kvæg vurderes det, at det på længere sigt er potentiale for at forbedre kvælstofudnyttelsen bl.a. gennem sænkning af PBV niveauet mod det teoretiske minimum på 0 g/FE, ligesom en opdatering af proteinvurderingssystemet til individuelle aminosyrer vil medføre en reduktion i kvælstofudskillelsen hos den enkelte ko med sammenlagt ca. 10 %. Dette vil medføre en reduktion på op til 14 kg kvælstof pr. malkeko i gennemsnit. Samtidig må der dog påregnes et forøget proteinforbrug pga. en forventet fortsat stigning i mælkeydelsen. Denne stigning i mælkeydelse vil medføre en reduktion i antallet af malkekøer. Det er endvidere nødvendigt at fastlægge fodermidlernes proteinværdi og minimum for PBV mere entydigt under praktiske forhold, hvis produktionstab skal undgås.

Svin. For svin vurderes, at det gennem yderligere tilpasning af foderets aminosyreindhold til grisenes aktuelle behov vil blive muligt at forbedre kvælstofudnyttelsen. Men det skal nævnes, at minimumsbehovet for protein skal være opfyldt. På kort sigt forventes det, at forbedringen hovedsageligt vil komme til udtryk gennem fremgang i produktivitet f.eks. gennem forøget kuldstørrelse, nedsat foderforbrug. På længere sigt vil det måske blive muligt at substituere protein

gennem tilsætning af flere forskellige industrielt fremstillede aminosyrer. Forøget anvendelse af forskellige foderblandinger tilpasset søernes behov gennem drægtighed henholdsvis laktation forventes at reducere kvælstofudskillelsen i soholdet. Samlet vurderes det, at kvælstofudskillelsen pr. produceret slagtesvin kan reduceres med omkring 1 %/år svarende til omkring 50 g pr. produceret slagtesvin.

Fjerkræ. Potentialet for at nedbringe kvælstofudskillelsen via fodringen vurderes at være meget begrænset i fjerkræproduktionen på kort sigt. Forbedringer vil dog kunne ske på længere sigt, hvis det bliver muligt bl.a. at producere andre essentielle aminosyrer udover de allerede kendte.

Pelsdyr. Potentialet for at reducere kvælstofudskillelsen fra pelsdyrproduktionen vurderes at være begrænset på kort sigt, idet det bl.a. vil kræve markante ændringer i fodersammensætning. Et forbedret kendskab til dyrenes behov for aminosyrer i de forskellige vækstfaser samt inddragelse af alternative foderstoffer forventes dog at kunne medføre at kvælstofudskillelsen kan reduceres på lidt længere sigt.

Planteforædling. Den genetiske viden indenfor planter udvikler sig lige nu meget hurtigt, og det er nu muligt at vurdere langt mere komplicerede sammenhænge end tidligere. Det er altovervejende sandsynligt, at denne viden vil blive anvendt i de kommende år til udvikling af nye plantesorter med en forbedret aminosyresammensætning ved hjælp af konventionelle teknikker eller gensplejsning. Dette forventes på længere sigt at kunne bidrage til en forbedret kvælstofudnyttelse hos husdyr, hvor foderet hovedsageligt består af planteprodukter.

Andet. Husdyrenes opstaldningsform har stor indflydelse på husdyrenes kvælstofudskillelse, idet foderforbruget til fritgående dyr (f.eks. svin og fjerkræ) er større sammenlignet med traditionelle opstaldningsformer. Dette betyder, at kvælstofudskillelsen vil blive forøget, hvis udviklingen i opstaldningsform går i retning af flere fritgående dyr.

Det vurderes, at de anførte tiltag vedr. forbedret kvælstofudnyttelse via reduktion i foderets proteinindhold ikke har negativ effekt på dyrenes velfærd. Tværtimod er et højt protein niveau ofte blevet sammenkædet med dårlig reproduktion, og udskillelse af overskudsprotein er forbundet med et energitab, som kan være problematisk for den højtydende ko, som i forvejen er i negativ energibalance. Ligeledes kan et højt proteinindhold være uheldig for mavesundheden hos smågrise, hvilket er forstærket set i lyset af ophøret i brugen af antibiotiske vækstfremmere.

Den betydelige variation i kvælstofudnyttelse mellem besætninger viser, at der er et betydeligt potentiale i praksis for at forbedre udnyttelsen af kvælstof. Dette stiller store krav til rådgivningen og til forbedret management på bedriften. Den store spredning i kvælstofudskillelsen i praksis er ikke udelukkende et dansk fænomen, idet der også i andre lande sædvanligvis forekommer stor spredning i kvælstofudskillelsen.

7 Perspektiver

På kort sigt kan der ikke forventes en stor reduktion i kvælstofudskillelsen fra det enkelte individ, men udnyttelsen forventes at blive løbende forbedret gennem små nyk i takt med, at det faglige grundlag bliver styrket, og at der opnås forbedrede muligheder for kvalitativt at vurdere proteinindholdet i de aktuelle foderrationer og foderstofpartier. Der kunne også tænkes et ryk i udnyttelsen, hvis der via planteforædling kan etableres sorter med en husdyrvenlig aminosyreprofil

og/eller gennem muligheder for tilsætning af nye typer industrielt fremstillede aminosyrer.

På længere sigt vurderes det, at reduktionen i kvælstofudskillelsen ved uændret produktionsniveau vil summere op til omkring 23.000 tons kvælstof. Dette forudsætter dog en betydelig forskningsindsats, ligesom det forudsættes, at forsøgsresultaterne omsættes og implementeres i praksis.

Den forventede reduktion i kvælstofudskillelsen fra kvæg vil sammenlagt andrage ca. 15.000 tons kvælstof/år i 2010. Tilsvarende forventes reduktionen i kvælstofudskillelsen fra svineproduktionen at beløbe sig til 8.000 tons/år i 2010 under antagelse af uændret svineproduktion (antal producerede slagtesvin).

Det skønnes, at omkring halvdelen af den forventede reduktion på 23.000 tons kvælstof/år i 2010 er begrundet i den generelle udvikling i husdyrbruget, og at den resterende del hentes gennem nye fodringsmæssige tiltag begrundet i forskning og efterfølgende rådgivning. Der er ved vurderingerne taget udgangspunkt i, at husdyrenes basale behov for aminosyrer skal tilgodeses.

8 Referencer

Aaes, O. (2002). Kæmpe forskelle i fodereffektiviteten. KvægInfo nr. 1079. Dansk Kvæg, 2 pp.

Aaes, O. & R. Thøgersen. 2003. Frisk græs til malkekøer. Grovfoderseminar 2003, Landbrugets Rådgivningscenter, 49-57.

Andersen, J.M., Poulsen, H.D., Børsting, C.F., Rom, H.B., Sommer, S.G. & Hutchings, N.J. 2001. Ammoniakemission fra landbruget siden midten af 80'erne. Faglig rapport fra DMU, nr. 353, 46 pp.

Boisen, S., Fernández, J. A. and Madsen, A., 1991. Studies on ideal protein requirement of female pigs from 25 to 95 kg live weight. Proc. 6th Int. Symp. on Protein Metabolism and Nutrition. 9th - 14th June, Herning, Denmark. EAAP publ. no. 59, 299-302.

Bossen, D., Aaes, O. & R. Thøgersen. 2000. Tilpasning af PBV i rationer til køer på græs. LK-meddelelse nr. 502, Landskontoret for Kvæg.

Børsting, C.F., Kristensen, T. & O. Aaes. 2001. Kvæg, ab dyr. I: Kvælstof, fosfor og kalium i husdyrgødning - normtal 2000 (Eds: Poulsen, H.P., Børsting, C.F., Rom, H.B. & S.G. Sommer). DJF Rapport nr. 36, Husdyrbrug, Danmarks JordbrugsForskning. 42-58.

Børsting, C.F., Kristensen, T., Misciattelli, L., Hvelplund, T. & M.R. Weisbjerg. Reducing nitrogen surplus from dairy farms. Effects of feeding and management. Livest. Prod. Sci. 83:165-178.

Cairns, A.J. 2003. Fructan biosynthesis in transgenic plants. J. Exp. Bot. 54, 549-567.

Canh, T.T, Aarnink, A.J.A., Mroz, S., Jongbloed, A.W., Schrama, J.W. and Verstegen, M.W.A. 1998. Influence of electrolyte balance and acidifying calcium salts in the diet of growing-finishing pigs on urinary pH, slurry pH and ammonia volatilisation from slurry. Livest. Prod. Sci. 56:1-13.

Chen, X.B., DebHovell, F.D. & E.R. Ørskov. 1990. Excretion of purine derivatives by ruminants: recycling of allantoin into the rumen via saliva and its fate in the gut. Br. J. Nutr. 63:197-205.

- Danfær, A. 1997. Fremtidens fodervurderingssystem til malkekøer. I: Intern Rapport nr. 88, Statens Husdyrbrugsforsøg, p 78-95.
- Danfær, A., Thysen, I. & V. Østergård. 1980. Proteinniveauets indflydelse på malkekøernes produktion. I. Mælkeydelse, tilvækst og sundhed. 492. Beretning, Statens Husdyrbrugsforsøg, 165 pp.
- Danfær, A., Tetens, V. & N. Agergaard. 1995. Review and an experimental study on the physiological and quantitative aspects of gluconeogenesis in lactating ruminants. *Comp. Biochem. Physiol.* 111B:201-210.
- Dourmad, J.Y., Guingand, N., Latimier, P. & Sève, B. 1999. Nitrogen and phosphorus consumption, utilisation and losses in pig production: France. *Livest. Prod. Sci.* 58, 199-211.
- Erdman, R. (1993). Dietary buffers and anion-cation balance in relation to acid-base status, feed intake and milk composition in the dairy cow. *Acta. Vet. Scand., Suppl.* 89:83-91.
- Fernández, J.A., Just, A. & Jørgensen, H. 1978. Syre- eller basetilsætnings indflydelse på foderets fordøjelighed hos svin. Statens Husdyrbrugsforsøg, Meddelelse nr. 257.
- Fernández, J. A., 1997. Aflejring og indhold af N, P og K hos slagtesvin. I: "Normtal for husdyrgødning" (Eds. Poulsen, H. D. og Kristensen, V. F.). Danmarks JordbrugsForskning Beretning nr. 736, 102-112.
- Fernández, J.A., 1999. Improved female pig (30-100 kg) performance and reduced N-excretion by optimisation of amino acids and protein supply. In: P. D. Cranwell (ed.). *Manipulating Pig Production. Proc 7th biennial conference of the APSA, Adelaide, South Australia*, 261.
- Fink, R. 2001. Nutrient and energy metabolism in the lactating mink (*Mustella vison*). Ph.D Thesis, The Royal Veterinary and Agricultural University, Copenhagen and Danish Institute of Agricultural Sciences, Foulum.
- Holder, P., Buttery, P.J. & P.C. Garnsworthy. 1995. The effect of diet asynchrony on rumen nitrogen recycling in sheep. *Anim. Sci.* 60:528.
- Horst, R.L., Goff, J.P., Reinhardt, T.A. & D.R. Buxton (1997). Strategies for preventing milk fever in dairy cattle. *J. Dairy Sci.*, 80:1269-1280.
- Hvelplund, T. (1997). Proteinvurderingssystemet, status og perspektiver. I: Intern Rapport nr. 88, Danmarks JordbrugsForskning. 4-17.
- Hvelplund, T. & J. Madsen. 1990. A study of the quantitative nitrogen metabolism in the gastrointestinal tract, and the resultant new protein evaluation system for ruminants. The AAT-PBV system. Doktorafhandling, Den Kgl. Veterinær- og Landbohøjskole, 215 pp.

- Hvelplund, T. & J. Madsen. 1995. Protein utilization in ruminants. I: Protein metabolism and nutrition (Editors: Nunes, A.F., Portugal, A.F., Costa, J.P. & J.R. Ribeiro). Proceedings of the 7th International Symposium on Protein Metabolism and Nutrition, Portugal. 83-93.
- Hvelplund, T., Beck, H. & M.R. Weisbjerg. 1999. Proteinudnyttelse under afgræsning. I: Intern Rapport nr. 118, Danmarks JordbrugsForskning. 41-48.
- Just, A., Jørgensen, H. and Fernández, J. A., 1981 The digestive capacity of the caecum-colon and the value of the nitrogen absorbed from the hindgut for protein synthesis in pigs. *Br. J. Nutr.* 46, 209-219.
- Just, A., Jørgensen, H., Fernández, J.A., Bech-Andersen, S. & Hansen, N.E. 1983. Forskellige foderstoffers kemiske sammensætning, fordøjelighed, energi- og proteinværdi. Beretning nr. 556, Statens Husdyrbrugsforsøg, 99 pp.
- Kjeldsen, A.M. 2003. Opgørelse af indberettede foderplaner i vinteren 2002. Notat fra Dansk Kvæg, 2 pp.
- Kohno-Murase-J, Murase, M., Ichikawa, H. og Imamura, J. 1995. Improvement in the quality of seed storage protein by transformation of *Brassica napus* with an antisense gene for cruciferin. *Theor. Appl. Genet.* 91, 627-631.
- Kristensen, N.B. (2003) Brug af buffere til malkekøer. Notat, Danmarks JordbrugsForsk-ning, 5 pp.
- Kristensen, T. 1997b. Effektivitet og intensitet i malkekvægsbesætningen – produktion, N-overskud og Økonomi. I: Intern Rapport nr. 91, Statens Husdyrbrugsforsøg, 3-18
- Kristensen, V.F. 1997a. Optimal proteinforsyning. I: Intern Rapport nr. 88, Statens Husdyrbrugsforsøg. 46-55.
- Kristensen, V.F., Kristensen, T., Aaes, O. & O.K. Hansen. 1997. Mængde og sammensætning af fæces og urin samt udskillelse af N, P og K i fæces og urin hos kvæg. I: Normtal for husdyrgødning (Eds: Poulsen, H.P. & V.F. Kristensen). Beretning nr. 736, Danmarks JordbrugsForskning. 113-148.
- Landsudvalget for svin. 2002a. Produktionsøkonomi Svinehold. Landbrugets Rådgivningscenter, Århus. 35 pp.
- Landsudvalget for svin. 2002b. Fokus på Normer for Næringsstoffer. 10. udgave, november 2002. Danske Slagterier, Landsudvalget for Svin, København. 5 pp.
- Lapierre, H. & G.E. Lobley. 2001. Nitrogen recycling in the ruminant: a review. *J. Dairy Sci.* 84(E.Suppl.):E223-E236.
- Laursen, B. 1987. Normtal for husdyrgødning. Statens Jordbrugsøkonomiske Institut, Rapport nr. 28, 35 pp.

Laursen, B. 1994. Normtal for husdyrgødning – revideret udgave af rapport nr. 28. Statens Jordbrugsøkonomiske Institut, Rapport nr. 82, 85 pp.

LR. 2003. Budgetkalkuler 2003 for de enkelte produktionsgrene 2002/2003. Landskontoret for Uddannelse, Landbrugets Rådgivningscenter, Landbrugsforlaget, 72 pp.

Lund, P., Weisbjerg, M.R. & T. Hvelplund. 2003. Effect of forage type and supplementation on rumen microbial composition, microbial synthesis and microbial efficiency in dairy cows. Abstract til Symposium on Energy and Protein Metabolism and Nutrition, Rostock, 2003.

Misciattelli, L. & T. Hvelplund. 2001. Optimering af kones aminosyreforsyning i relation til mælkeproduktion og N-udskillelse. I: Intern Rapport nr. 142, Danmarks JordbrugsForskning. 15-31.

Misciattelli, L, Hvelplund, T., Weisbjerg, M.R., Madsen, J., Møller, J., Thøgersen, R. & A.M. Kjeldsen. 2002a. Fodermidlernes indhold af aminosyrer og aminosyrernes andel af AAT. Rapport nr. 98. Dansk Kvæg, 56 pp.

Misciattelli, L, Hvelplund, T., Weisbjerg, M.R., Børsting, C.F., Madsen, T.G. Madsen, J., Møller, J., Thøgersen, R. & A.M. Kjeldsen. 2002b. Malkokoens lysin og methionin behov. Kvæginfo nr. 971. Dansk Kvæg, 1 pp.

Munck, L. 1992. The Case of High-lysine Barley Breeding, I: Barley: Genetics, Biochemistry, Molecular Biology and Biotechnology, ed. P.R. Shewry, CAB International 573-601.

Newbold, C.J., Teferedegne, B., Kim, H.S., Zurr, G. & G.E. Lobley. 2000. Effects of protozoa on nitrogen metabolism in the rumen of sheep. *Reprod. Nutr. Dev.* 40:199.

Nielsen, N.M. 2000. Malkekoens kvælstofudskillelse og proteinbehov i suppleringsfoderet ved afgræsning et halvdøgn. M.Sc.-thesis, Institut for Husdyrbrug og Husdyrsundhed, KVL.

Nielsen, N.M. & T. Kristensen. 2001. Malkekøernes kvælstofudskillelse og udnyttelse på besætningsniveau analyse af data fra Studielandbrug. DJF Rapport nr. 33, Husdyrbrug, Danmarks JordbrugsForskning. 34 pp

Nielsen, N.O., 1995. Nedsat proteinindhold i slagtesvinefoder. Landsudvalget for Svin, 307 Meddelelse. 6 pp.

O'Quinn, P.R., Nelssen, J.L., Goodband, R.D., Knabe, D.A., Woodworth, J.C., Tokach, M.D. og Lohrmann, T.T. 2000. Nutritional value of a genetically improved high-lysine, high-oil corn for young pigs. *J. Anim. Sci.* 78, 2144-2149

Poulsen, H.D. & Børsting, C.F. 2000. Notat vedr. reestimering af husdyrgødningsnormer. Danmarks JordbrugsForskning.

Poulsen, H.D., Børsting, C.F., Rom, H.B. & Sommer, S.G. 2001. Kvælstof, fosfor og kalium i husdyrgødning – normtal 2000. DJF rapport nr. 36, Husdyrbrug, Danmarks JordbrugsForskning, 152 pp.

Prasanna, B.M., Vasal, S.K., Kassahun, B. og Singh, N.N. 2001. Quality protein maize. *Current Science* 81, 1308-1319.

Sanchez, W.K. & D.E. Beede (1996). Is there an optimal cation-anion difference for lactations diets ?. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 59, 3-12

Sandbøl, P. (personlig meddelelse)

Scollan, N.D., Kim, E.J., Dhanoa, M.S., Gooden, J.M., Neville, M.A., Evans, R.T., Dawson, J.M. & P.J. Buttery. 1997. The effects of diet asynchrony on portal-drained viscera metabolism. *Proc. Br. Soc. Anim. Sci.*, 1.

Sørensen, G. 2002. Påvirkning af diegivende søers syre/base balance via fodring. *Landsudvalget for Svin*, Meddelelse nr. 582, 7 pp.

Van der Peet-Schwering, C.M.C., Jongbloed, A.W. & Aarnink, A.J.A. 1999. Nitrogen and phosphorus consumption, utilisation and losses in pig production: The Netherlands. *Livest. Prod. Sci.* 58, 213-224.

Van Straalen, W.M. 1995. Modelling of nitrogen flow and excretion in dairy cows. Ph.D.thesis, Wageningen Agricultural University, The Netherlands, 205 pp.

Weisbjerg, M.R. 1997. Recirkulering af kvælstof til vommen. I: Intern Rapport nr. 88, Statens Husdyrbrugsforsøg, p 18-29.

Weisbjerg, M.R., Hvelplund, T., Kristensen, V.F. & T. Stensig. 1998. The requirement for rumen degradable protein and the potential for nitrogen recycling to the rumen in dairy cows. *TSAP Proceedings*, 25:110-118.