

Effekt af mineraltildeling på produktions- og sundhedsparmetre samt mineralstatus hos malkekøer

Af: Thorben Krüger og Niels Bastian Kristensen, SEGES Innovation P/S

Sammendrag

Ekstra tildeling af mineraler ud over de hidtil, af SEGES, anbefalede typemineralblandinger blev testet i et overkrydsningsforsøg. Forsøget blev udført i 9 malkekvægsbesætninger, i to forsøgsperioder med periode-længde på et år. Forsøgsmineraler (FORSØG) var formuleret ud fra tildelingsniveauer ofte fundet i gårdmi-neralblandinger. I forhold til en type 3 blanding indeholdt forsøgsblandingen 50% ekstra højtopløseligt mag-nesium, 50% ekstra chelateret kobber, mangan og zink, 50% ekstra selen, 50% ekstra A-, D-, og E-vitamin (naturlig) og 20 mg biotin. Kontrolbehandlingen bestod af en daglig tildeling af 100 g typemineraler (TYPE). Forsøget viste ingen effekt af forsøgsbehandlingerne på produktions-, klov-, reproduktions- eller sundheds-parametre. Resultaterne tyder på, at køernes mineralbehov er opfyldt, og til dels overopfyldt ved brug af ty-pemineraler. Dette understøttes af markører i lever-, blod-, urin-, og mælkeprøver, hvor der ikke blev fundet indikationer af mineral- eller vitaminmangel ved brug af typemineraler. Der blev til gengæld fundet indikatio-ner på overforsyning med kobber og jod på begge forsøgsbehandlinger, samt overforsyning med selen på FORSØG. Desuden blev der observeret tilfælde af atypisk mælkefeber på FORSØG, hvilket rejser spørgs-målet, om atypisk mælkefeber kan hænge sammen med overforsyning med magnesium eller anden kompo-nent af mineralblandingen.

På baggrund af nærværende forsøgsresultater, blev der formuleret en ny Kvæg basismineralblanding som erstatning for typemineralblandingerne. Kvæg basismineralblandingen vil med anbefalet dosering tilføre min-dre magnesium, mangan, kobber, jod og A-vitamin ift. type 3. Behovet for disse mineraler og A-vitamin er ofte dækket af det naturlige indhold i foderet.

Introduktion

SEGES har hidtil anbefalet brugen af typemineralblandinger som mineralsupplement til malkekøer. Det er sidenhen konstateret, at typemineraler har et unødvendig højt indhold af en række mineraler (KvægInfo 2604) og derfor er anbefalingen nu, at bruge den nyformulerede Kvæg basismineralblending til typiske græs- og græs-majs baserede rationer (KvægInfo 2610). Gårdmineraller har ofte et endnu højere indhold af mineraler end typemineralblandingerne. Sammenlignet med typemineralblandinger indeholdt 9 undersøgte gårdmineralblandinger mindst 50% højere doseringer af de enkelte mineraler og vitaminer, og i mange tilfælde betydeligt mere. Kendetegnende for gårdmineralblandingerne var desuden anvendelsen af organisk bundne mikromineraler, naturligt E-vitamin og biotin, samt langt højere omkostninger (KvægInfo 2604). Organisk bundne mikromineraler og naturligt E-vitamin tilskrives ofte en bedre tilgængelighed end uorganiske mikromineraler og syntetisk E-vitamin, idet de ligner de naturligt forekommende mineraler i foderet. Biotin er vigtig for klovvæksten. Der er ingen NorFor-anbefalinger om tildeling af biotin, da behovet normalt anses for dækket gennem naturligt forekommende biotin i foderet, samt mikrobiel syntese i vommen.

De højere doseringer ved anvendelsen af gårdmineraller er også langt over NorFor-anbefalingen. Supplement med organisk bundne mikromineraler og biotin anbefales ikke af SEGES. Alligevel synes brugen af gårdmineralblandinger samt overdosering med typemineralblandinger i praksis stadigvæk udbredt. Forventningerne til højpris-mineralerne og overdosering af typemineraler er ofte bl.a. højere mælkeydelse, bedre reproduktion og sundhed, lavere celletal og bedre klovsundhed. Formålet med nærværende forsøg var at undersøge, om der kan detekteres et produktions- eller sundhedsrespons ved ekstra tildeling af mineraler og vitaminer ud over den hidtil af SEGES anbefalede tildeling af 100 g typemineraler/ko/dag. Desuden blev køernes mineralstatus vurderet ud fra markører i lever- og skjoldbruskkirtelvæv, samt urin-, mælke- og blodprøver.

Materialer og metoder

Forsøgsdesign

Forsøget var planlagt som overkrydsningsforsøg i 10 besætninger, som hver gennemgik to forsøgsperioder med periodelængde på et år fra efterår 2020 til efterår 2022. Én besætning udsatte køerne ved udgangen af 2021, så forsøget blev reelt udført i 9 besætninger, hvoraf 7 bestod af udelukkende Holstein (HF), én bestod af VikingRed (VR) og én bestod af både HF, VR og krydsninger. Forsøgsbehandlingerne var FORSØG og TYPE. I første forsøgsperiode var 5 besætninger på TYPE og 4 på FORSØG. I anden forsøgsperiode skiftede besætningerne til den anden forsøgsbehandling.

TYPE bestod af et mineralsupplement på 100 g/ko/dag typemineraler (type 1 eller type 3), suppleret med kridt, salt og evt. natriumbikarbonat efter optimering af besætningens fodringsrådgiver. I første forsøgsperiode blev der kun anvendt type 3 mineral, på nær én besætning, der anvendte type 1. FORSØG bestod af et mineralsupplement på 250 g forsøgsmineral, som var formuleret ud fra en type 3, med 50% ekstra højtopløseligt magnesium, 50% ekstra chelateret kobber, mangan og zink, 50% ekstra selen fra seleniseret gær, 50% ekstra A-, D- og E-vitamin (naturlig) og 20 mg biotin. Desuden indeholdt blandingen en basisforsyning af kridt og fodersalt. Det planlagte mineralsupplement på de to forsøgsbehandlinger fremgår af Tabel 1.

Tildelingen på 250 g forsøgsmineral var formuleret til en standardration på 23,5 kg TS. Mineraltildelingen blev tilstræbt tilpasset til foderoptagelsen således, at tildelingen var 10,6 g forsøgsmineral/kg TS. Mineraltildelingen blev i nogle besætninger afvejet med mineralvægt og i andre besætninger afmålt som halve eller hele sække.

Table 1: Daglig mineraltildeling i forsøget ved brug af 250 g forsøgsblanding (FORSØG) eller 100 g type 1 eller 3 (TYPE). FORSØG blev formuleret ud fra en type 3 tildeling med 50% ekstra magnesium, 50% ekstra kobber-, mangan- og zinkchelate, 50% ekstra seleniseret gær, 50% ekstra A- og D-vitamin, samt 50% ekstra naturligt E-vitamin og 20 mg biotin.

Komponent	Formulering	Enhed	FORSØG	Type 3	Type 1
Magnesium	MgO 98%	g/dag	21	14	8,5
Kobber	CuSO ₄ pentahydrat	mg/dag	150	150	150
Kobber	Cu, chelat	mg/dag	75		
Mangan	Mn(II)O ₂	mg/dag	400	400	400
Mangan	Mn, chelat	mg/dag	200		
Zink	ZnO ₂	mg/dag	450	450	450
Zink	Zn, chelat	mg/dag	225		
Jod	Calcium anhydrat	mg/dag	22.5	22.5	22.5
Selen	NaSe	mg/dag	5	5	5
Selen	Seleniseret gær	mg/dag	2.5		
Kobolt	CoCO ₃ coated	mg/dag	2.5	2.5	2.5
A-vitamin		1000 IE/dag	90	60	90
D3-vitamin		1000 IE/dag	28.5	19	19
E-vitamin	allrac	IE/dag	400	400	600
E-vitamin	RRR alfa	IE/dag	200		
Biotin		mg/dag	20	0	0

Foderkontroller og produktionsparametre

Foderkontroller blev enten lavet automatisk via Cowconnect, eller manuelt i samarbejde mellem besætningen og SEGES. I analysen blev der inddraget 1 foderkontrol/måned og et gennemsnit for besætning x forsøgsbehandling blev beregnet. I én besætning blev dette gennemsnit for den ene forsøgsperiode kun beregnet ud fra 2 månedlige foderkontroller, da de resterende foderkontroller mangler.

Ydelseskontrollodata, klovregistreringer og sygdomsdata blev hentet fra kvægdatabasen. Drægtighedsdata blev hentet manuelt fra DMS. Ydelseskontrollodata blev brugt for hele forsøgsperioden. Drægtighedsdata, klovregistreringsdata og sygdomsdata for de to forsøgsperioder blev udvalgt fra 1. januar, hvor de fleste besætninger var minimum 1 måned inde i forsøgsperioden. Den 23. oktober skiftede den første besætning til næste forsøgsperiode og datoen blev derfor valgt som slutdato for indsamling af drægtigheds-, klovregistrerings-, og sygdomsdata. Data foreligger dermed for i alt 295 dage per forsøgsperiode.

Prøveudtagning og analyser

Der blev løbende udtaget fuldfoderprøver, fortrinsvis udtaget i 60-liters murerbaljer under udfodring eller udgravet fra foderstrengen. Prøverne blev neddelt efter kegleneddelingsmetoden. Foderprøverne blev transporteret på køl til Kvægbrugets Forsøgslaboratorium, SEGES (KFL). Tørstof blev bestemt ved tørring ved 60°C i 40 timer. Prøverne blev herefter formalet og NIR scannet som standard KMP-fuldfoder analyse (Kvægbrugets Forsøgslaboratorium, KFL). For ca. 2 prøver per forsøgsperiode blev en delprøve af den tørrede og formalede prøve sendt til Eurofins Agrotesting Denmark A/S til ICP- og kloridanalyse.

I to omgange per forsøgsperiode (forår og sensommer) blev der udtaget urin- og leverprøver fra køer i alle forsøgsbesætninger. Der blev udtaget urinprøver fra 8 køer pr besætning i hver udtagingsrunde. Urinprøverne blev udtaget som midtstrøms urinprøver fra køer i intervallet 75-125 dage efter kælvning (mediankøer).

Urinprøverne blev transporteret på køl til KFL. Urin-pH blev bestemt med glaselektrode, urinprøverne blev scannet med NIT (Bruker MPA, LSM-module), opdelt i tre delprøver og nedfrosset inden videre analyse. Magnesium (Radox MG531) og kreatinin (Radox CR524) blev bestemt ved spektrofotometri. Koncentrationen af titrerbar base i urin blev bestemt ved NIT, med kalibrering baseret på formoltitrering af urinprøver fra kvæg (Jørgensen, 1957).

I forbindelse med udsætning af køer, blev der opsamlet leverprøver fra slagtedy. Indenfor 6 timer efter slagting blev prøverne transporteret til KFL og opdelt i tre delprøver. En delprøve blev tørret ved 60°C i tørreovn i minimum 40 timer. Anden delprøve blev sendt til mineralanalyse (Eurofins Agrotesting Denmark A/S), og tredje delprøve frosset ned som gemmeprøve. Mineralanalysen bestod af ICP-MS-analyse af jern, kobber, zink, mangan og selen samt analyse af vitamin B12.

Der blev desuden opsamlet struber med omkringliggende væv fra køer fra forsøgsbesætningerne, samt besætninger uden for forsøget, bl.a. fra køer fra en økologisk besætning, som ikke anvender mineralblandinger. Skjoldbruskkirtler blev dissekeret ud af en forsøgsmedarbejder. Skjoldbruskkirtlerne blev vejet og delt i to delprøver, én delprøve til jodanalyse hos Eurofins og én delprøve til tørring ved 60°C i tørreovn i minimum 40 timer. Data for skjoldbruskkirtler er ikke opgjort efter forsøgsbehandling, men opgjort efter om køerne har modtaget et jodsupplement (typisk 22,5 mg/dag) eller ej.

Efter aftale med besætningsdyrlægerne blev der i maj 2022 udtaget heparinstabiliserede blodprøver af 5 mediankøer (75-125 DEK) pr besætning. Prøverne blev centrifugeret, plasma afpipetteret og opbevaret på frost. Plasmaprøverne blev transporteret til Foulum til high-performance liquid chromatography (HPLC) analyse af D-vitamin hos Søren Krogh Jensen (Hymoller and Jensen, 2011).

Tankmælksprøver blev udtaget i to omgange, minimum 24 timer efter seneste mælkeafhentning. Prøverne blev udtaget fra omrørt tank enten gennem lugen eller ved brug af prøveudtagningsrør gennem studs. Mælkeprøverne blev opbevaret på frost indtil analyse hos Eurofins. Prøverne blev analyseret for fedt- og proteinindhold. Derefter blev prøverne frysetørret og jern, kobber, zink, mangan og selen bestemt ved ICP-MS, og E-vitamin bestemt ved HPLC.

Beregninger og statistisk analyse

Procentvis bias og prædiktionsfejl mellem foderanalyser og forventede værdier blev beregnet som gennemsnit og standardafvigelse af $((\text{analyseret-forventet})/\text{forventet}) * 100$.

Diurese (urinmængde i L/d) blev beregnet under antagelse af en kreatinin-udskillelse på 114 mmol/dag (Røjen et al., 2011). Den daglige udskillelse i urin blev beregnet som: urinkoncentration af komponent*diurese. En magnesiumudskillelseskoefficient for magnesium udskilt i urin blev beregnet som magnesium udskilt i urin/magnesiumindtagelse (baseret på magnesiumindhold i rationen bestemt ved ICP). Udskillelsen af mikromineraler og E-vitamin som andel af den totale indtagelse blev beregnet ud fra koncentrationen i mælken, mælkeydelsen og indtagelsen af mikromineraler, beregnet som gennemsnit af hele forsøgsbehandlingen.

Samtlige sundheds- og produktionsparametre er opgjort som gennemsnit pr besætning og forsøgsbehandling. Drægtighedsprocenten er defineret som antal drægtighedsgivende insemineringer*100/antal insemineringer i alt. Samtlige klov- og sygdomsregistreringer er defineret som antal behandlinger/100 køer i gennemsnit i forsøgsperioden.

Den statistiske analyse er foretaget i SAS (9.4). Behandlingsforskelle blev testet ved brug af proc mixed med forsøgsbehandling som forklarende variabel og en repeated struktur bestående af besætning med behandlingssekvens som nested effekt. Gennemsnit af responsparametre er angivet som LS-Means og SEM er angivet som den højeste SEM af de to forsøgsbehandlinger.

Resultater

Foderkontroller og foderanalyser

Tabel 2 viser gennemsnit af foderkontrollerne på de to forsøgsbehandlinger. På TYPE blev der i gennemsnit tildelt 100 g typemineral/ko/dag. På FORSØG blev der i gennemsnit tildelt 251 g/ko/dag. Variation i mineraltildelingen stammer fra variation i foderoptagelse, samt forskelle i doseringsmetoder, da nogle besætninger tildelte mineraler i halve eller hele poser og andre afvejede mængderne. FORSØG resulterede i en signifikant højere tildeling af magnesium, jern, zink, kobber, selen samt D- og E-vitamin.

*Tabel 2: Gennemsnit af foderkontroller på de to forsøgsbehandlinger. Beregnet ud fra gennemsnitlig foderkontrol af besætning*behandling ud fra de månedlige foderkontroller. Behandlingsforskelle blev testet ved brug af proc mixed med forsøgsbehandling som forklarende variabel og en repeated struktur bestående af besætning med behandlingssekvens som nested effekt. Gennemsnit af responsparametre er angivet som LS-Means og SEM er angivet som den højeste SEM af de to forsøgsbehandlinger.*

Parameter	Enhed	Anbefalet tildeling i NorFor	FORSØG	TYPE	SEM	P-værdi
Mineraltildeling	g/ko/dag		251	100	3.9	<0.001
Energiudnyttelse	%		98.6	99.4	0.87	0.52
Dagsydelse	kg EKM/dag		36.4	35.9	0.91	0.70
Foderoptagelse	kg TS/dag		24.8	24.1	0.35	0.17
Energi	MJ/kg TS		6.8	6.8	0.04	0.38
Energibalance	%	100	100.9	100.8	0.91	0.94
Råprotein	g/kg TS	<170	168	169	2.6	0.86
AAT til mælk	g/MJ	15	15.4	15.2	0.18	0.35
PBV	g/kg TS	10-45	22.4	22.7	1.7	0.92
Fedtsyrer	g/kg TS		32.6	32.6	1.2	0.98
NDF	g/kg TS		308	307	5.6	0.89
Stivelse	g/kg TS		208	208	4.2	0.96
Fylde	FV		8.7	8.5	0.10	0.21
Grovfoderandel	%		55.7	55.7	1.5	0.99
TS	%		42.4	41.8	1.1	0.69
Sukker	g/kg TS		49.0	43.5	3.4	0.26
Calcium	g/kg TS	5.5*	6.9	7.1	0.12	0.42
Fosfor	g/kg TS	3.2*	4.5	4.4	0.10	0.30
Magnesium	g/kg TS	2*	3.1	2.7	0.04	<0.001
Kalium	g/kg TS	10*	13.8	13.6	0.21	0.41
Natrium	g/kg TS	2*	3.3	3.1	0.27	0.69
Klorid	g/kg TS	2.8*	4.9	4.7	0.30	0.60
Svovl	g/kg TS	2	2.5	2.4	0.06	0.16
CAB	meq./kg TS	200	198	201	16	0.89
Jern	mg/kg TS	15*	173	153	5.1	0.02
Mangan	mg/kg TS	28*	58.2	57.9	1.1	0.86
Zink	mg/kg TS	54*	62.3	52.7	0.71	<0.001
Kobber	mg/kg TS	7.5	15.2	11.6	0.36	<0.001
Kobolt	mg/kg TS	0.20	0.19	0.19	0.007	0.87
Selen	mg/kg TS	0.20	0.37	0.27	0.008	<0.001

Jod	mg/kg TS	1	1.14	1.09	0.02	0.16
A-vitamin	1000 IE/dag	69	396	374	12	0.22
D-vitamin	1000 IE/dag	25	29.2	19.3	0.47	<0.001
E-vitamin	IE/dag	496	1326	1132	26	<0.001

*Anbefalede tildelinger i NorFor omregnet fra daglig tildeling til koncentration i foder under antagelse om et foderoptag på 23,5 kg TS og en mælkeydelse på 36 kg EKM

Tabel 3 viser det gennemsnitlige mineralindhold i grundblandingerne og andel tilsat fra mineralblanding på de to forsøgsbehandlinger, samt de anbefalede tildelinger i NorFor. De anbefalede tildelinger i NorFor for magnesium, mangan, A- og E-vitamin var i gennemsnit allerede opfyldt før tilsætning af mineralblandinger. De anbefalede tildelinger af zink, kobber, kobolt, selen, jod og D-vitamin var i gennemsnit ikke opfyldt i grundrationen og en stor andel af indholdet i foderrationen stammede fra mineralblandingerne.

Tabel 3: Oversigt over mineralerindhold i grundblandingen og andel tilsat fra mineralblanding. Beregnet ud fra tabel 1 og tabel 2.

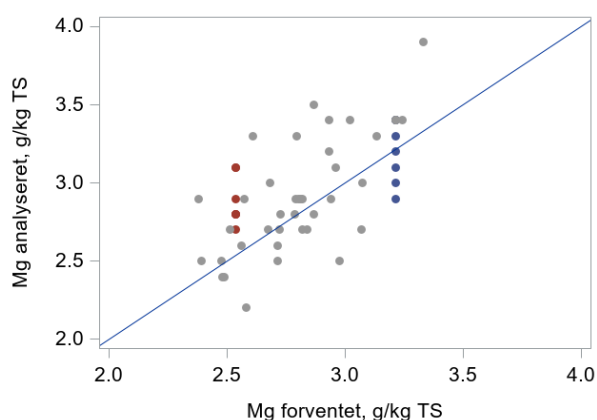
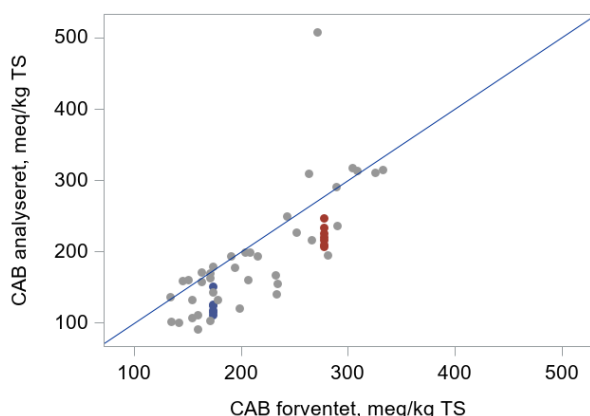
Parameter	Anbefalet tildeling i NorFor (ca.)	FORSØG			Type		
		Total tildeling	Grundblanding	% fra mineralblanding	Total tildeling	Grundblanding	% fra mineralblanding
Magnesium, g/dag	50	77	56	27%	65	51	22%
Mangan, mg/dag	680	1443	843	42%	1395	995	29%
Zink, mg/dag	1400	1545	870	44%	1270	820	35%
Kobber, mg/dag	190	377	152	60%	280	130	54%
Kobolt, mg/dag	5	4.7	2.2	53%	4.6	2.1	55%
Selen, mg/dag	5	9.2	1.7	82%	6.5	1.5	77%
Jod, mg/dag	23.5	28	5.8	80%	26	3.8	86%
A-vitamin, IE/dag	75	396	306	23%	374	314	16%
D-vitamin, IE/dag	25	29	0.7	98%	19	0.3	98%
E-vitamin, IE/dag	496	1326	726	45%	1132	732	35%

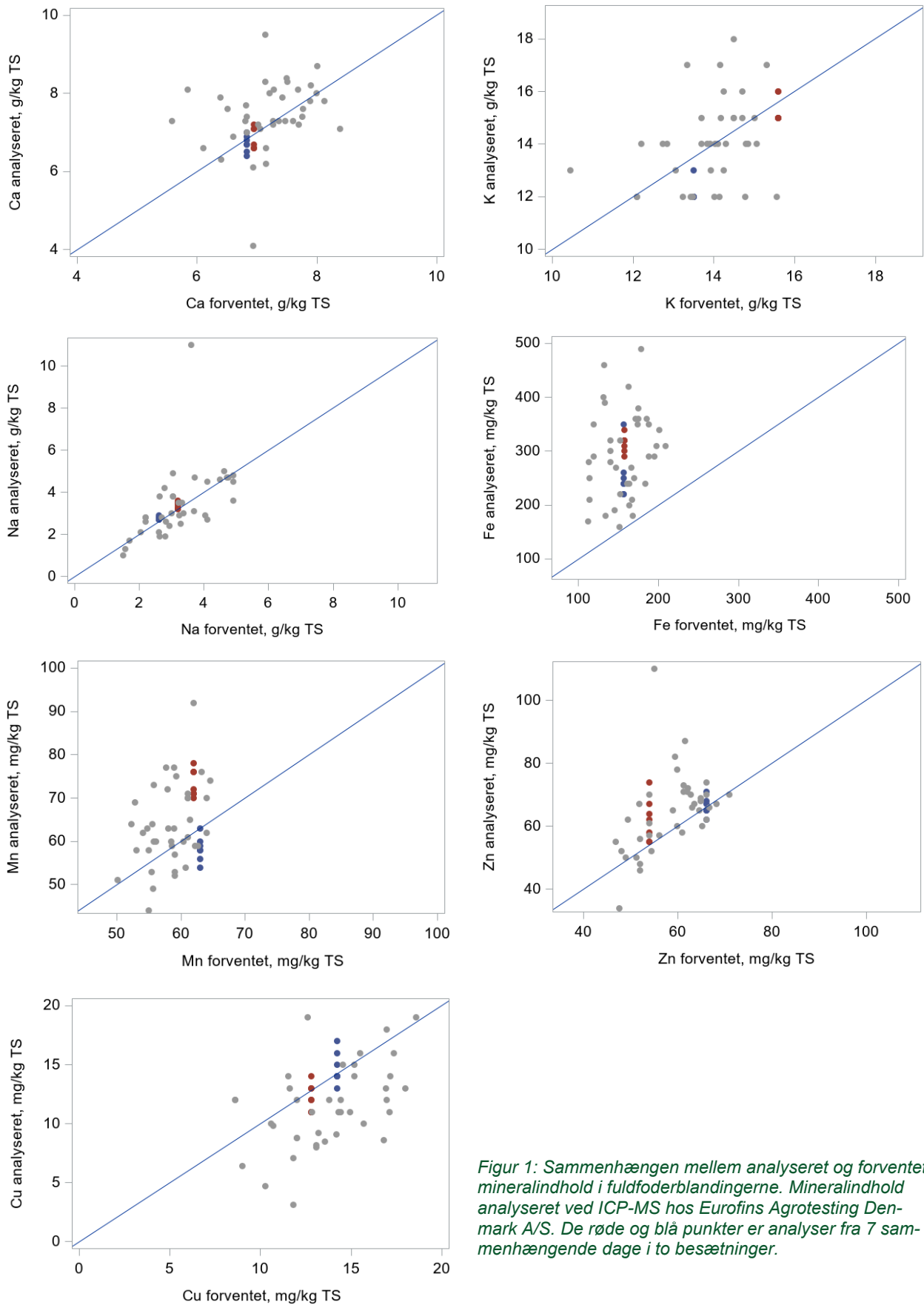
Bias (%) og prædiktionsfejl for analyseret sammensætning af fuldfoder fra forsøgsbesætningerne er vist i Tabel 4. Bias og prædiktionsfejlen er større for de fleste mineraler sammenlignet med tørstof, NDF, stivelse og råprotein. Den højere prædiktionsfejl for mineraler kan skyldes en kombination af analyseusikkerheder, uperfekt blanding af foder og batch til batch variation i fodermidler. Bias kan være påvirket af at foderblandingerne mineralindhold for en række fodermidler og elementer er beregnet ud fra ingrediensernes tabelværdier, hvorimod TS, NDF, stivelse og råprotein i større udstrækning er analyseret i besætningernes aktuelle fodermidler.

Table 4: Bias (%) og prædiktionsfejl for analyseret sammensætning af fuldfoder fra forsøgsbesætningerne. Beregnet som gennemsnit og standardafvigelse af $((\text{analyseret-forventet})/\text{forventet}) * 100$. Tørstof er bestemt ved tørring ved 60° i tørreovn; NDF, stivelse og råprotein er analyseret ved NIR-analyse på KFL. Mineralerne er analyseret ved ICP analyse hos Eurofins Agrotesting Denmark A/S.

Parameter	N	Bias (%)	Prædiktionsfejl (%)
Tørstof	53	-0.2	5.7
NDF	53	-3.5	7.6
Stivelse	53	-1.9	6.9
Råprotein	53	0.3	4.7
Calcium	53	2.6	12.3
Fosfor	51	-1.3	8.9
Magnesium	53	4.5	9.7
Natrium	51	6.2	34.9
Kalium	51	-0.7	10.9
Klorid	51	21.1	35.6
Svovl	51	8.6	8.9
CAB	53	-15.0	23.3
Jern	53	89.4	51.9
Mangan	53	8.0	14.4
Zink	53	9.2	18.3
Kobber	53	-12.2	23.4

Figur 1 viser sammenhængen mellem forventet og analyseret mineralindhold. Denne kan synes lav for mineraler, hvor der er lav variation mellem de analyserede foderrationer. F.eks. synes sammenhængen mellem forventet og analyseret CAB værdi stærkere end sammenhængen mellem forventet og analyseret kaliumindhold, selvom bias og prædiktionsfejl for kalium er lavere end for CAB (Tabel 2). Spændet mellem den laveste og højeste CAB værdi er dog omkring en faktor 3 (120-350 meq/kg TS), mens det for kalium kun er omkring en faktor 1,6 (12-16 g/kg TS). De røde og blå punkter, i Figur 1, er foderprøver fra 7 sammenhængende dage i to besætninger. Dette illustrerer dag til dag variationen for de forskellige mineraler.





Figur 1: Sammenhængen mellem analyseret og forventet mineralindhold i fuldfoderblandingerne. Mineralindhold analyseret ved ICP-MS hos Eurofins Agrotesting Denmark A/S. De røde og blå punkter er analyser fra 7 sammenhængende dage i to besætninger.

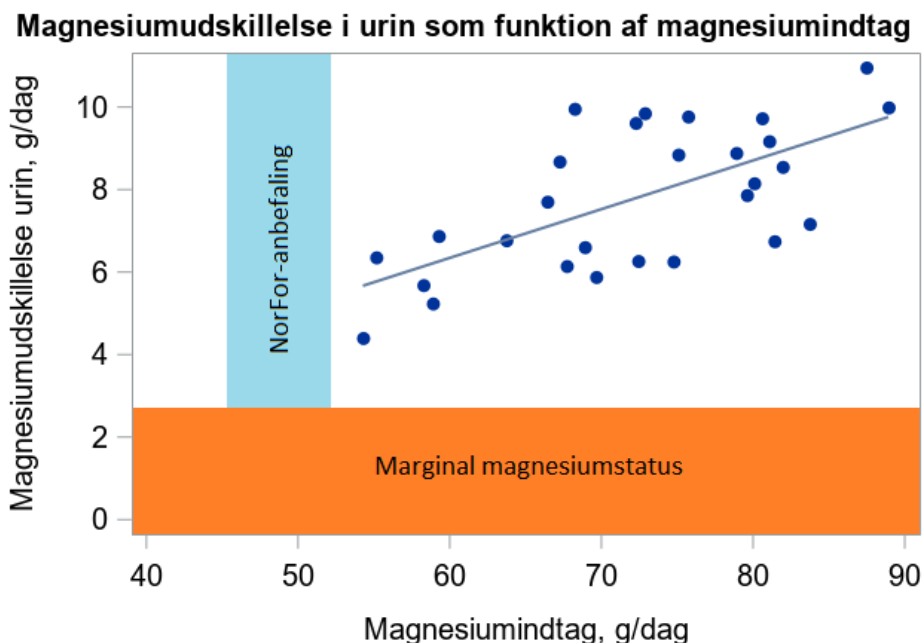
Urinprøver

Relevante urinparametre er vist i Tabel 5. Magnesiumudskillelsen var signifikant højere på FORSØG sammenlignet med TYPE. Der var ingen statistisk signifikant forskel i diurese, magnesiumudskillelseskoefficient (magnesium udskilt i urin/magnesiumindtagelse), udskillelse af titrerbar base i urin (ikke metaboliserbar base) eller urin pH mellem de to forsøgsbehandlinger.

*Tabel 5: Oversigt over urinparametre på de to forsøgsbehandlinger. Der er udtaget urinprøver fra 8 køer pr udtagningsrunde i hver besætning. Diurese (urinmængde i L/d) blev beregnet under antagelse ud fra kreatininkoncentrationen i urin under en antaget kreatinin-udskillelse på 114 mmol/dag. Den daglige udskillelse i urin blev beregnet som: urinkoncentration af komponent*diurese. Behandlingsforskelle blev testet ved brug af proc mixed med forsøgsbehandling som forklarende variabel og en repeated struktur bestående af besætning med behandlingssekvens som nested effekt. Gennemsnit af responsparemetre er angivet som LS-Means og SEM er angivet som den højeste SEM af de to forsøgsbehandlinger.*

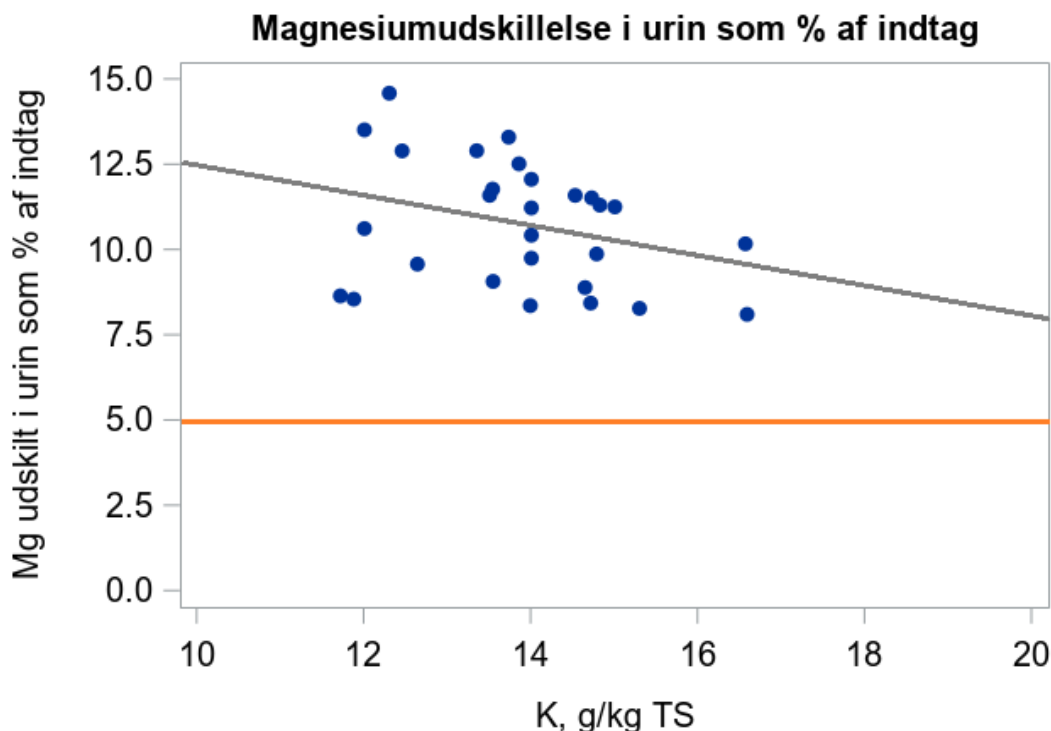
	FORSØG	TYPE	SEM	p
Diurese, L/dag	27.0	24.7	2.3	0.46
Magnesiumudskillelseskoefficient (Magnesium udskilt i urin/magnesiumindtagelse)	10.9	10.6	0.52	0.71
Magnesiumudskillelse urin, g/dag	8.5	7.0	0.36	0.004
Baseudskillelse i urin, meq./dag	3213	2852	427	0.38
Urin pH	8.08	8.11	0.04	0.39

Figur 2 viser magnesiumudskillelsen i urin som funktion af magnesiumindtagelse. Magnesiumudskillelsen i urin er en markør for koens magnesiumstatus, da overskydende absorberet magnesium bliver udskilt i urin. Magnesiumudskillelsen i urin stiger 0,12 gram/gram ekstra tildeling. Den anbefalede tildeling i NorFor er afhængig af mælkeydelsen og er ofte mellem 45-55 g/dag. Magnesiumtildelingen var mellem 55-90 og dermed i mange tilfælde langt over anbefalingen. Magnesiumudskillelsen var i alle udtagningsrunder højere end 2,5 g/dag, som sikrer en stabil magnesiumkoncentration over 0,8 mmol Mg/L i blodplasma (Schonewille and Beynen, 2005a).



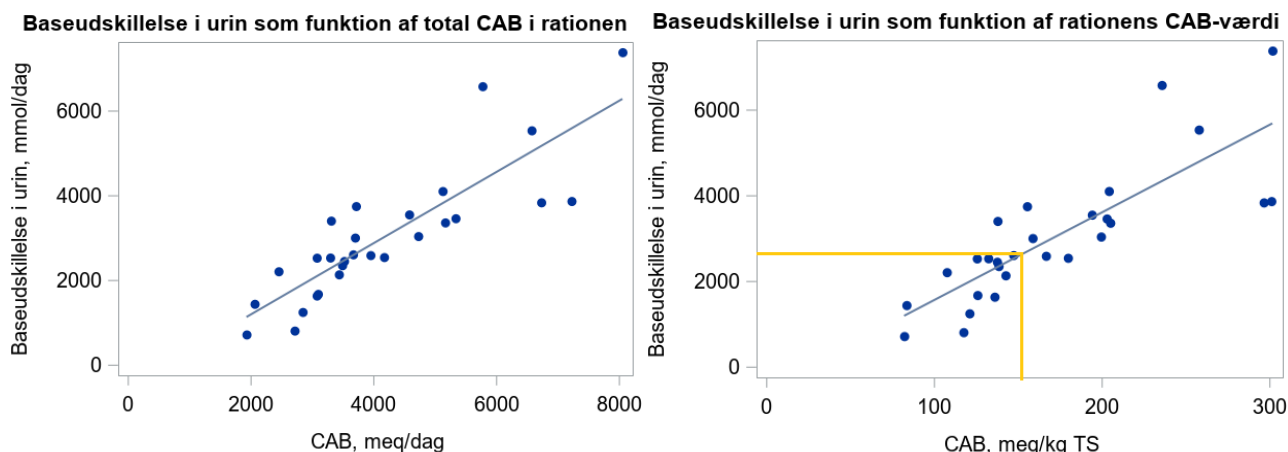
*Figur 2: Magnesiumudskillelse i urin som funktion af magnesiumindtagelse (ud fra ICP-Analyser) som besætningsgennemsnit af 8 køer/udtagning. (Regressionens hældning: 0,12; $p < 0,0001$; $R^2 = 0,48$). Magnesiumudskillelsen i urin er beregnet som diurese*magnesiumkoncentration i urin, hvor diurese er beregnet ud fra kreatininkoncentrationen i urin.*

Figur 3 viser magnesiumudskillelseskoefficienten (magnesium udskilt i urin/magnesiumindtagelse) som funktion af kaliumkoncentrationen i foder. Effekten af kaliumkoncentrationen i foder på magnesiumudskillelseskoefficienten er ikke statistisk signifikant ($p=0,1$) og korrelationen er lav ($R^2=0,06$). Den minimale magnesiumudskillelse i urin for et sikkert opfyldt magnesiumbehov er 2,5 g/dag, hvilket er omkring 5% af anbefalingen på ca. 50 g/dag. Skæringen af regressionen i Figur 3 med den orange linje som markerer 5% er ved ca. 30 g K/kg TS. Hvis sammenhængen mellem kaliumkoncentrationen i foder og magnesiumudskillelseskoefficienten var statistisk signifikant, skulle kaliumkoncentrationen i foder være >30 g/kg TS, for at føre til et øget magnesiumbehov. Den højeste kaliumkoncentration i foder var i forsøgsbesætningerne dog kun 16,5 g/kg TS.



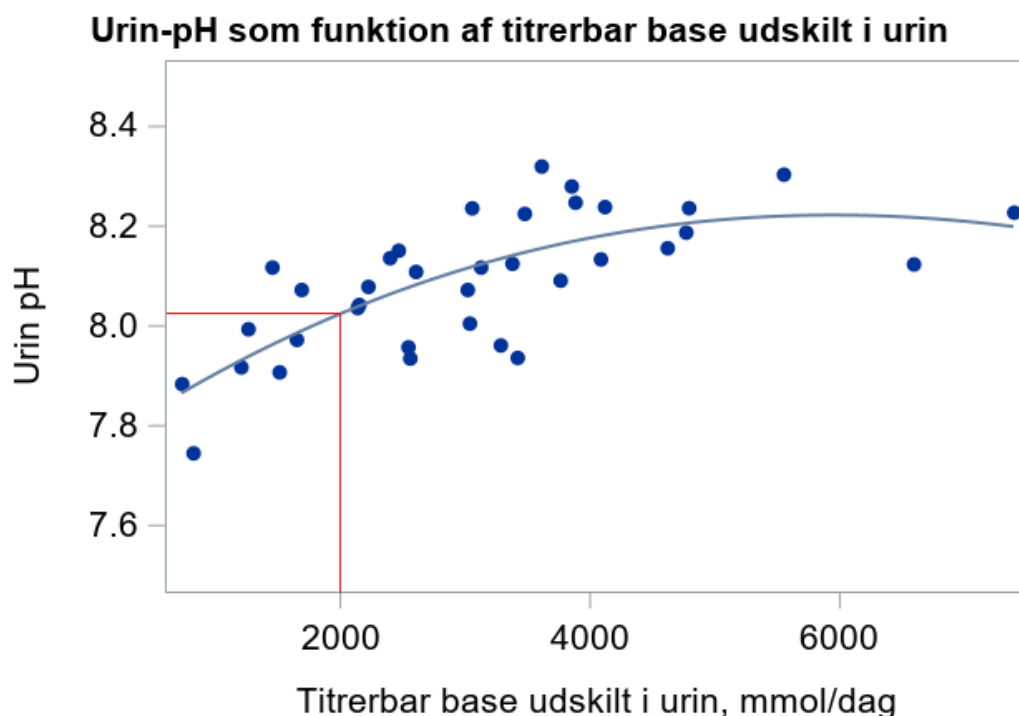
Figur 3: Magnesiumudskillelseskoefficient (magnesium udskilt i urin/magnesiumindtagelse) som funktion af kaliumkoncentrationen i foder. (Hældning=-0,4; $p=0,1$; $R^2=0,06$). Hvert datapunkt er gennemsnit af 8 køer. Mineralindhold i foder bestemt ved ICP-analyse. Den orange linje markerer en magnesiumudskillelseskoefficient på 5%, som er det beregnede minimum for at NorFor-anbefalingen stadig kan opfylde en magnesiumudskillelse i urin på 2,5 g/dag, som kræves for at koen kan opretholde en tilstrækkelig magnesiumkoncentration i blodet.

Overskydende absorberet ikke-metaboliserbar base udskilles i urin, tilsvarende udskillelsesvejen for overskydende magnesium. Baseudskillelsen i urin kan derfor bruges som markør for koens baseoverskud. Da mælk indeholder ikke-metaboliserbar base, kræver mælkeproduktion et baseoverskud. Dette opnås ved at styre rationens CAB-værdi. Som det kan ses i Figur 4, er der en positiv sammenhæng mellem rationens CAB-værdi og udskillelsen af base i urin. Ved den ud fra tidligere resultater anbefalede CAB-værdi til vinterfodring på 150 meq./kg TS, kan der forventes et baseoverskud på omkring 2500 meq./dag.



Figur 4: Titrerbar base i urin som funktion af rationens CAB-værdi (meq/dag og meq/kg TS). Gennemsnit af 8 urinprøver pr besætning og udtagningsrunde udtaget fra mediankøer (75-125 DEK), i alt 216 observationer. Koncentrationen af base blev analyseret ved NIT, kalibreret mod titrerbar base bestemt ved formoltitrering. Total baseudskillelse blev beregnet som koncentrationen*diurese beregnet ud fra kreatininkoncentrationen under en antaget kreatininudskillelse på 114 mmol/dag.

I praksis er det vanskeligt at måle baseudskillelsen i urin. Man kan derfor med fordel bruge urin-pH som markør for basekoncentrationen i urin. Figur 5 viser urin-pH som funktion af titrerbar base udskilt i urin. En pH omkring 8, som tidligere er brugt som tærskel for fuld alkalisering, svarer til en baseudskillelse i urin på omkring 2000 meq/dag.



Figur 5: Urin-pH som funktion af titrerbar base i urin. Vist som gennemsnit af 8 urinprøver fra mediankøer (75-125 DEK) pr besætning og udtagningsrunde. pH analyseret med pH-meter og base analyseret ved NIT, kalibreret mod titrerbar base bestemt ved formoltitrering.

Vævsprøver

Tabel 6 viser koncentrationer af mikromineraler og Vitamin B12 i leveren hos slagtekøer fra forsøget. Jern-, zink-, kobber- og B12koncentrationer var ikke signifikant forskellige mellem forsøgsbehandlingerne. Mangan- og selenkoncentrationer i leveren hos køer på FORSØG var signifikant højere sammenlignet med køer på

TYPE. Henholdsvis 5% og 8% af prøverne på FORSØG og TYPE havde marginalt lave selenkoncentrationer. 3% af prøverne fra FORSØG havde høje zinkkoncentrationer. Henholdsvis 17% og 12% på FORSØG og TYPE havde forhøjede kobberkoncentrationer i leveren, for selen gjaldt det henholdsvis 22% og 5% af observationerne på FORSØG og TYPE.

Tabel 6: Gennemsnitlig mikromineralindhold i lever (jern, mangan, zink, kobber, selen, B12) fra slagtekøer fra de to forsøgsbehandlinger, samt andel prøver udenfor reference for normal mineralstatus (Kincaid, 2000). Behandlingsforskelle blev testet ved brug af proc mixed med forsøgsbehandling som forklarende variabel og en repeated struktur bestående af besætning med behandlingssekvens som nested effekt. Gennemsnit af responsparametre er angivet som LS-Means og SEM er angivet som den højeste SEM af de to forsøgsbehandlinger.

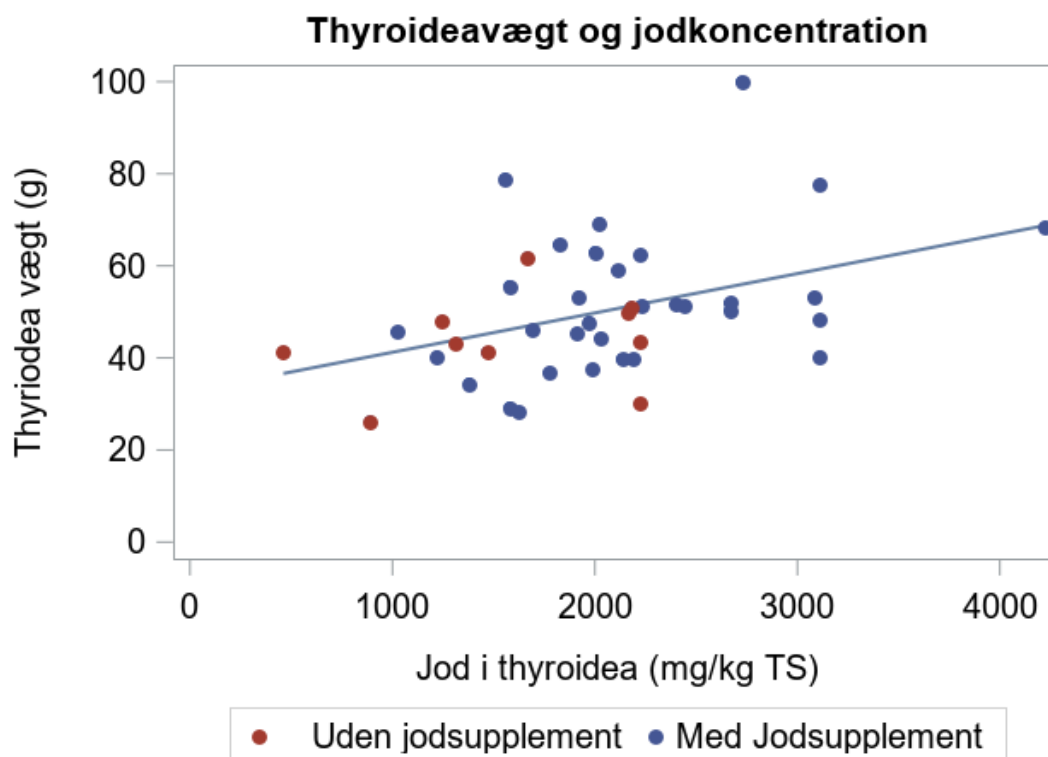
		Tærskel	FORSØG	TYPE	SEM	p
	Antal leverprøver		41	60		
Fe	Koncentration, mg/kg TS		260	213	25.6	0.16
Mn	Koncentration, mg/kg TS		9.4	7.9	0.34	0.001
	Mangel, % af observationer	< 5 mg/kg TS	0%	0%		
Zn	Koncentration, mg/kg TS		119	129	8.3	0.35
	Mangel, % af observationer	< 40 mg/kg TS	0%	0%		
	Forhøjet, % af observationer	> 300 mg/kg TS	0%	3%		
Cu	Koncentration, mg/kg TS		487	428	23.5	0.06
	Mangel, % af observationer	< 33 mg/kg TS	0%	0%		
	Forhøjet, % af observationer	> 600 mg/kg TS	17%	12%		
Se	Koncentration, mg/kg TS		2.2	1.7	0.075	<0.001
	Mangel, % af observationer	< 0.5 mg/kg TS	0%	0%		
	Marginal, % af observationer	< 1.25 mg/kg TS	5%	8%		
	Forhøjet, % af observationer	> 2.5 mg/kg TS	22%	5%		
B12	Koncentration, mg/100 g		1.02	1.06	0.032	0.4
	Mangel, % af observationer	< 0.15 mg/100g	0%	0%		

Tabel 7 viser den gennemsnitlige jodkoncentration i skjoldbruskkirtler opdelt efter, om kørerne har modtaget et jodsupplement i mineralblandingen eller ej. Jodkoncentrationen i skjoldbruskkirtlerne hos køer med jodsupplement var signifikant højere end uden jodsupplement. 2 skjoldbruskkirtler fra dyr uden jodsupplement havde jodkoncentrationer under 1000 mg/kg TS. Skjoldbruskkirtelvægten var ikke påvirket af jodsupplement.

Tabel 7: Gennemsnitlig jodkoncentration og andel med potentiel mangel (Suttle, 2010) i skjoldbruskkirtler. Skjoldbruskkirtlerne stammer fra slagtekøer der har fået 22,5 mg jodsupplement eller ingen jodsupplement. Behandlingsforskelle blev testet ved brug af proc mixed med forsøgsbehandling som forklarende variabel. Gennemsnit af responsparametre er angivet som LS-Means og SEM er angivet som den højeste SEM af de to forsøgsbehandlinger.

	Med Jodsupplement	Uden jodsupplement	SEM	p
Prøveantal med bestemmelse af Jodkoncentration	38	11		
Jod, mg/kg TS	2150	1540	186	0.006
% under 1000 mg/kg TS	0%	18%		
Prøveantal med bestemmelse af vægt	32	10		
Thyroidea vægt, g	52	44	5.6	0.11

Figur 6 viser sammenhængen mellem thyroideavægt og jodkoncentrationen i thyroidea. Der er en positiv korrelation mellem thyroideavægt og jodkoncentrationen i thyroidea, men med høj variation. Ingen køer havde høj vægt og lav jodkoncentration i thyroidea, hvilket ville være forventet ved jodmangel.



Figur 6: Sammenhængen mellem skjoldbruskkirtlers vægt og jodindhold. Skjoldbruskkirtlerne stammer fra slagtekøer der har fået 22,5 mg jodsupplement (blå) eller ingen jodsupplement (rød) (hældning=0,008; $p=0,008$; $R^2=0,14$).

Blodprøver

Tabel 8 viser resultaterne fra D-vitamin analyserne i blodplasma. Køer på FORSØG havde i gennemsnit højere D-vitamin koncentrationer end på TYPE. Ingen køer på hverken FORSØG eller TYPE havde D-vitamin mangel (<5 ng/ml). Ingen køer på FORSØG var under referencen for optimal D-vitamin status, men 43% var over. 10% og 25% af køerne på TYPE havde hhv. lavere og højere end optimal D-vitamin status.

Tabel 8: D-vitamin status hos køer på de to forsøgsbehandlinger ift. referencer for mangel og optimal status (NASEM, 2021). Vitamin D i plasma bestemt ved high-performance liquid chromatography (HPLC). Behandlingsforskelle blev testet ved brug af proc mixed med forsøgsbehandling som forklarende variabel. Gennemsnit af responsparemetre er angivet som LS-Means og SEM er angivet som den højeste SEM af de to forsøgsbehandlinger.

	FORSØG	TYPE	SEM	p
Antal prøver	28	20		
D3-vitamin, ng/ml	49.9	43	2.1	0.02
% mangel (<5)	0%	0%		
% under optimal (<30 ng/ml)	0%	10%		
% over optimal (>50 ng/ml)	43%	25%		

Tankmælksprøver

Tabel 9 viser koncentrationer af E-vitamin og mikromineraler i tankmælksprøver. E-vitamin vises i mg/kg mælkefedt, da E-vitamin er fedtopløselig og dermed findes i mælkenes fedtfraktion. Der var ingen behandlingsforskel på koncentrationen af E-vitamin, jern, mangan, zink eller kobber. Selenkoncentrationen i mælken på FORSØG var signifikant højere end på TYPE.

Tabel 9: Koncentrationer af E-vitamin og mikromineraler i tankmælksprøver. Analyseret af Eurofins ved HPLC og ICP-MS.

	n	FORSØG	TYPE	SEM (koncentration)	p(behandling)
E-vitamin, mg/kg fedt i mælk	21	19.5	19.4	0.99	0.91
Fe, ug/kg TS i mælk	23*	1058	1779	337	0.14
Mn, ug/kg TS i mælk	23**	121	128	12	0.66
Zn, ug/kg TS i mælk	23	30833	30182	905	0.27
Cu, ug/kg TS i mælk	23	326	348	56	0.77
Se, ug/kg TS i mælk	23	270	170	31	0.04

*6 prøver var under 600 mg/kg TS, blev sat til 600 mg/kg TS. **13 prøver var under 100 mg/kg TS, blev sat til 100 mg/kg TS.

Tabel 10 viser mineraludskillelsen i mælk som andel af det daglige indtag. I forhold til indtagelsen udskilles der meget lidt E-vitamin, jern, mangan og kobber i mælken. Omkring 10% af indtagelsen af zink og selen udskilles i mælken.

Tabel 10: % af daglig indtagelse udskilt i mælk. Beregnet ud fra den gennemsnitlige koncentration i mælken på de to forsøgsbehandlinger (Tabel 9), den gennemsnitlige mælkeydelse og det gennemsnitlige indtag af mikromineraler (Tabel 2).

	FORSØG	TYPE
Vit E, % af indtagelse udskilt i mælk	2.2%	2.5%
Fe, % af indtagelse udskilt i mælk	0.1%	0.2%
Mn, % af indtagelse udskilt i mælk	0.04%	0.04%
Zn, % af indtagelse udskilt i mælk	8.5%	10.2%
Cu, % af indtagelse udskilt i mælk	0.36%	0.53%
Se, % af indtagelse udskilt i mælk	12.5%	11.2%

Produktions- og sundhedsparametre

Gennemsnit af ydelseskontroldata er vist i Tabel 11. Der var ingen statistisk signifikant effekt af forsøgsbehandlingerne på mælkeydelse, mælkesammensætning, celletal, acetone, 3-hydroxybutyrat (BHB) eller urea. Data er baseret på 196 ydelseskontroller som indeholder 43.360 enkeltobservationer. Dette svarer til en gennemsnitlig besætningsstørrelse på 221 malkende køer og 1991 køer i alt.

Tablet 11: Gennemsnitlig ydelseskontroldata per behandling baseret på 196 ydelseskontroller og 43.360 enkeltobservationer (LS-Means, SEM og p-værdi).

	FORSØG	TYPE	SEM	p (beh)
Kg EKM	37.1	36.9	0.86	0.57
Kg Mælk	36.0	35.7	1.02	0.58
Protein %	3.68	3.68	0.025	0.95
Fedt %	4.24	4.22	0.068	0.72
Celletal	267	258	26.6	0.35
Acetone	0.018	0.020	0.0021	0.37
BHB	0.031	0.035	0.0034	0.49
Urea	4.24	4.17	0.09	0.60

Tablet 12 viser reproduktionsparametre på de to forsøgsbehandlinger. Der var ingen behandlingseffekt på drægtighedsprocent, behandling af cyster eller brunstinduktion.

Tablet 12: Reproduktionsparametre på de to forsøgsbehandlinger (LS-means, SEM og p-værdi). Antal drægtigheder/100 insemineringer, antal behandlinger/100 køer.

	n(bes x beh)	n (enkeltoobservationer)	FORSØG	TYPE	SEM	p
Drægtigheds pct	18	6565	46	45.2	1.6	0.72
Cyster	11	56	1.9	1.7	0.49	0.69
Brunstinduktion	13	154	5.3	5.5	1.6	0.94

Tablet 13 viser klovregistreringer på de to forsøgsbehandlinger. Der var ingen behandlingseffekt på forekomsten af diverse klovsygdomme.

Tablet 13: Klovregistreringer på de to forsøgsbehandlinger (LS-means, SEM og p-værdi). Antal behandlinger/100 køer.

	n(bes x beh)	n (enkeltoobservationer)	FORSØG	TYPE	SEM	p (beh)
Klovbeskæring	16	7962	231	237	17.5	0.81
Digital Dermatitis	18	1862	46.7	47.2	10.6	0.92
Dobbelt sål	15	565	21.3	11.2	6.2	0.25
Nydannelse	16	635	18.9	20.2	5.8	0.88
Klovbrandbyld	18	679	15	19.2	3.9	0.44
Såleblødning	15	1351	52	36.3	23.1	0.63
Hul væg løs hvid linje	15	796	31.4	17.3	13.2	0.44
Hul væg sår/byld i hvid linje	16	255	7.5	7	3.4	0.92
Andre lemmelidelser	17	408	13.3	13.1	5.3	0.97

Der er observeret ca. 6-8 tilfælde af atypisk mælkefeber, fordelt på to besætninger. Besætningerne havde ikke før oplevet problemer med atypisk mælkefeber og alle tilfælde forekom på FORSØG. Den ene besætning havde udelukkende VR og den anden besætning bestod af både VR, HF og krydsninger. Alle andre besætninger bestod udelukkende af HF.

Diskussion

Den optimale dosering af mineraler opnås ved at tildele nok til at understøtte koens produktion uden risiko for at dag til dag variation fører til underforsyning, men samtidigt begrænse overforsyning under hensyntagen til økonomi, bæredygtig udnyttelse af naturressourcer og forhindre, at koen bliver forgiftet. Koens mineralstatus kan vurderes ud fra biologiske markører. Mineralmangel forventes afspejlet i produktions-, klov- eller reproduktionsdata. De biologiske markører udvælges ud fra viden om køernes homeostatiske respons på varierende mineraltildeling. I nærværende forsøg gøres dette ud fra urinprøver, blodprøver, leverprøver, skjoldbruskkirtler og mælk. Mineralniveauer i disse prøver sammenholdes med referenceværdier fra litteraturen, hvor det er muligt.

Med baggrund i biologiske markører var den foreløbige konklusion fra nærværende forsøg i 2021, at brugen af typemineraler ikke fører til mineralmangel hos malkekøer (KvægInfo 2604). Det blev derimod konkluderet, at selv et typemineralsupplement fører til forhøjede kobberkoncentrationer i leveren. Desuden blev det beregnet, at de anbefalede tildelinger i NorFor for magnesium, mangan og A-vitamin i langt de fleste tilfælde allerede var dækket af det naturlige indhold i foderet og det blev formodet, at jodtildelingen i typemineralerne er for høj. Med udgangspunkt i disse resultater blev der i 2021 formuleret den nye Kvæg basismineralblanding, for at afløse typemineralerne (KvægInfo 2610). Denne mineralblanding har et reduceret indhold af magnesium, mangan, kobber, jod og A-vitamin ift. typemineralerne. Sammensætningen af Kvæg basismineralblanding fremgår af Tabel 14. Ud fra nærværende resultater drages der så vidt muligt konklusioner om ændringerne i Kvæg basismineralblanding ift. Typemineralerne.

Tabel 14: Sammensætning af basismineralblandingen (KvægInfo 2610) og vejledende doseringer pr 23,5 kg/TS.

Formulering		Daglig tildeling	Kvæg Basis Mikro (100 g/dag)	Kvæg Basis Kridt (250 g/dag)
Makromineraler		tildeling, g/dag	indhold, g/kg	
Ca*	Calciumcarbonat	13/60**	130	240
Mg	Magnesiumoxid, fin >96% opløselighed	7	70	28
Na	Natriumklorid	12	120	48
Mikromineraler		tildeling, mg/dag	indhold, mg/kg	
Mn	Manganoxid	200	2000	800
Zn	Zinkoxid	450	4500	1800
Cu	Kobbersulfat	75	750	300
Co	Cobolt (II) carbonat coated	2,5	25	10
I	Calciumjodat	15	150	60
Se	Natriumselenit	5	50	20
Vitaminer		tildeling, 1000IE/dag	indhold, 1000 IE/kg	
A-Vitamin	Retinyl acetat	30	300	120
D3-Vitamin	Cholecalciferol	19	190	76
E-Vitamin	all-rac-alpha-tocopherylacetat	0,6	6	2,4
Ekstra tilvalg		tildeling, mg/dag	indhold, mg/kg	
Biotin***		(20)	(200)	(80)

* Kridt bruges som balance, så det faktiske indhold kan afvige ** Calcium-tildeling ved hhv. basis mikro og basis kridt. *** Tilsætning af Biotin er vist som eksempel på dosering, en tilsætning af biotin anbefales ikke.

Magnesium

Udskillelse af overskydende absorberet magnesium i urin er et væsentligt element i magnesiumhomeostasen. Magnesium udskilt i urin kan derfor bruges som markør for koens magnesiumstatus. Som det fremgår af

Tabel 5 og Figur 2, stiger køernes magnesiumudskillelse i urin med stigende magnesiumindtagelse. En stabil magnesiumkoncentration i blodet på over 0,8 mmol/L er opnået ved en magnesiumudskillelse i urin over 2,5 g/dag (Schonewille and Beynen, 2005a). Ofte er en magnesiumkoncentration i blodplasma over 0.8

mmol/L dog også opnået ved en magnesiumudskillelse i urin under 2.5 g/dag. Det vurderes derfor, at en magnesiumudskillelse i urin på 2,5 g/dag er tilpas høj for at sikre en tilstrækkelig magnesiumstatus og der forventes ikke et yderligere positivt respons ved en højere magnesiumstatus end det der svarer til en magnesiumudskillelse i urin på 2,5 g/dag.

I nærværende forsøg var den laveste daglige magnesiumudskillelse i urin omkring 4 g/dag (Figur 2), hvilket skønnes at vise en status hos køer med rigelig magnesiumforsyning. Grænsen for hvor lav magnesiumtildelingen kan være, før udskillelsen i urin er 2,5 g/dag er ikke testet i dette forsøg. Der er dog før udtaget urinprøver i to økologiske besætninger, med tildelinger omkring 42 g Mg/dag, hvor magnesiumudskillelsen i urin var hhv. 4 og 7 g/dag (KvægInfo 2604). Disse resultater bekræfter, at NorFor-anbefalingen på ca. 2 g/kg TS er høj nok til at sikre køernes magnesiumforsyning. I praksis ses dog ofte magnesiumtildelinger langt over anbefalingen, helt op til over 100 g/dag.

Et argument for en magnesiumtildeling der overstiger anbefalingen, kan være et højt kaliumindhold i foderet, da kalium virker som antagonist til magnesium. Magnesiumudskillelseskoefficienten (magnesium udskilt i urin/magnesiumindtagelse) kan bruges som markør for køernes magnesiumabsorption. En negativ effekt af kaliumkoncentrationen i foderet på magnesiumudskillelseskoefficienten og dermed på magnesiumabsorptionen (Figur 3) var ikke statistisk signifikant i nærværende forsøg. Der er dog konsensus om, at kalium er en antagonist til magnesium (Schonewille and Beynen, 2005a). Ud fra Figur 3 skal kaliumkoncentrationen i foderet dog være >30 g/kg TS, før denne effekt fører til et øget magnesiumbehov ud over NorFor-anbefalingen. Det vurderes, at så høje kaliumkoncentrationer i den samlede ration normalt ikke opnås ved staldfodring i praksis og den højeste kaliumkoncentration i en foderration i nærværende forsøg var 16,5 g/kg TS. Kaliumkoncentrationen i foderet forklarer kun en meget lille andel af magnesiumudskillelseskoefficientens variation ($R^2=0,06$).

I nogle tilfælde anvendes magnesium i en forventning om en forebyggende effekt på atypisk mælkefeber. En meget lav magnesiumstatus kan nemlig blokere PTH-responset på varierende calciumkoncentrationer i blodet (Vetter and Lohse, 2002) og dermed udløse hypocalcæmi. På den anden side kan en højere end normal magnesiumstatus have en lignende effekt. Magnesium har nemlig antagonistiske egenskaber overfor calcium. Hos mennesker er muskellammelse blandt symptomerne på svær hypermagnesæmi, og kan behandles med infusion af calciumgluconat (Cascella and Vaqar, 2022), svarende til symptomatik og behandling af atypisk mælkefeber. Da der er observeret tilfælde af atypisk mælkefeber udelukkende på FORSØG, og en stor behandlingsforskel lå i magnesiumtildelingen, er én hypotese, at en for høj magnesiumtildeling kan øge risikoen for atypisk mælkefeber.

Nærværende resultater tyder på, at NorFor-anbefalingen på ca. 2 g Mg/kg TS er fuldt ud tilstrækkelig til at sikre koens magnesiumforsyning. NorFor-anbefalingen var i gennemsnit allerede opfyldt af fodermidlernes naturlige indhold og en magnesiumtildeling i mineralblandingen er derfor ofte blot en ekstra sikkerhed. Dette understøtter beslutningen om en reduceret magnesiumtildeling i Kvæg basismineralblandingen.

CAB

Rationens CAB-værdi er et estimat for tilførslen af ikke-metaboliserbar base med foderet (positive CAB-værdier, negative CAB-værdier er udtryk for tilførsel af ikke-metaboliserbar syre), og dermed hvordan foderrationen påvirker koens syre-base balance. En høj CAB-værdi øger bikarbonatkoncentrationen i blodet hos koen, hvorimod en negativ CAB-værdi forsurer koen. Da mælk indeholder ikke-metaboliserbar base, har koen et behov for base til mælkeproduktion. En malkende ko har derfor et behov for positiv CAB-værdi i foderrationen. $\text{HCO}_3^-/\text{CO}_2$ buffer-systemet er et vigtigt element i blodets pH regulering, respiration af CO_2 , samt udskillelse af hydrogen- eller bikarbonationer i urin (Schonewille and Beynen, 2005b). Effekten af rationens CAB-værdi på koens baseudskillelse i urin er vist i Figur 4. Hvis koens basebehov ikke opfyldes, kan den forsurende effekt af koens mælkeudskillelse i princippet til en vis grad udliges af udskillelse af syre (hydrogenioner) i urin. Under varmemstress medfører en øget respirationsrate en lavere CO_2 - og dermed bikarbonatkoncentration i

blodet, hvilket reducerer blodets bufferkapacitet og blodets forventede kapacitet for optagelse af kortkædede fedtsyrer over vomvæggen. I varme perioder anbefales derfor en højere CAB-værdi i foderet end om vinteren.

NorFor-anbefalingen til malkende køer er en CAB-værdi på mellem +200 og +400 meq/kg TS og forskellige udenlandske studier har fundet en positiv effekt af en høj CAB-værdi på mælkeydelsen. Da majsensilage og rapsprodukter har lave CAB-værdier, kræver mange danske rationer en større tilsætning af natriumbikarbonat, for at opnå en CAB-værdi på over +200 meq/kg TS, hvilket kan blive dyrt. Der er ingen referenceværdier for den optimale baseudskillelse i urin og derfor kan der ud fra nærværende resultater ikke drages endelige konklusioner om den optimale CAB-værdi. En tidligere antagelse var, at koen er fuldt alkaliseret ved en urin-pH på >8, hvilket ifølge Figur 5 svarer til en netto-baseudskillelse i urin på 2000 mmol/dag og opnås ved en CAB omkring 150 meq/kg TS (Figur 4).

CAB-værdien er en måde at prædiktere rationens effekt på koens syre-base forsyning. En mere præcis estimering af koens behov for baseoverskud end de af NorFor anbefalede +200-400 meq/kg TS kræver derfor forsøg, der undersøger effekten af koens baseoverskud (målt på baseudskillelsen i urin) på sundheds- og produktionsparametre. Indtil videre fastholdes anbefalingen om en CAB-værdi på 150 i normal vinterfodring og/eller en urin-pH på >8 på mediankøer. Det anbefales at øge rationens CAB-værdi i varme sommermåneder.

Mangan

Som det fremgår af Tabel 2, var mangankoncentrationen i rationerne omkring 58 mg/kg TS og dermed det dobbelte af NorFor-anbefalingen på ca. 28 mg/kg TS. Det naturlige manganindhold i foderrationerne, se Tabel 3, viser, at der under normale praksisforhold ikke er behov for supplerende mangan for opfyldelse af køernes behov.

Den vigtigste mekanisme for regulering af manganhomeostasen er regulering af absorptionen. Bedømmelse af koens manganstatus er derfor vanskelig. Leverprøverne fra køer på FORSØG viste en signifikant højere mangankoncentration end på TYPE. Dette skyldes muligvis en omgåelse af den homeostatiske regulering af manganoptagelsen ved brug af organisk bundet mangan på FORSØG.

Der var ingen behandlingseffekt på mangankoncentrationen i mælk og manganudskillelsen i mælk er generelt meget lav (Tabel 9). Under 1% af mangan i foderet bliver normalt absorberet, hvilket tyder på, at koens manganbehov generelt er meget lavt. Disse observationer understøtter beslutningen om et reduceret manganindhold i Kvæg basismineralblandingen ift. typemineralerne. Det vurderes at mangan fremadrettet bør fjernes fra standardmineralblandinger.

Zink

Opfyldelsen af den anbefalede tildeling af zink i NorFor kræver supplement fra mineralblandingen og den nye anbefaling for zink var i nærværende forsøg ikke opfyldt ved brug af typemineraler (Tabel 3).

Der var ingen signifikant effekt af forsøgsbehandling på lever- eller mælkeprøvernes zinkkoncentration (Tabel 6, Tabel 9). Ifølge Kincaid (1999) er referenceområdet for zinkkoncentration i leveren hos køer mellem 25-200 mg/kg TS. Ingen leverprøver havde zinkkoncentrationer under 25 mg/kg TS, men hhv. 2- og 8% havde zinkkoncentrationer over 200 mg/kg TS. Ifølge Van den Top (2005) er zinkkoncentrationen i leveren hos køer normalt 100-400 mg/kg TS. På begge forsøgsbehandlinger fandtes leverprøver under 100 mg Zn/kg TS. At der ikke var en behandlingsforskel på zinkkoncentrationen i leveren, tyder på at en højere zink-tildeling ikke fører til en højere zinkkoncentration i leveren.

Zinkudskillelsen i mælk er betydelig ift. indtagelsen. På TYPE blev ca. 10% af indtagelsen udskilt i mælk. Zinkhomeostasen styres ved en kombineret regulering af absorptionen, udskillelse i mælk og deponering i væv (Miller, 1974). Det er vanskeligt ud fra de foreliggende data at drage en endelig konklusion om køernes zinkstatus. Det faktum, at forsøgsbehandlingen, hverken havde en effekt på zinkkoncentrationen i lever eller

mælk tyder på, at zinkbehovet var opfyldt på begge forsøgsbehandlinger. Zinktildelingen i basismineralblandingen er den samme som i typemineralerne og de nærværende resultater giver ikke anledning til at ændre den anbefalede tildeling.

Kobber

Koens kobberabsorption er omkring 3-4% af kobberindtagelsen og hæmmes af svovl og molybdæn. Koens kobberhomeostase reguleres primært gennem deponering i og mobilisering fra leveren. Dermed er kobberkoncentrationen i leveren en direkte indikator på koens kobberstatus. Kobberkoncentrationerne i leveren på forsøgsbehandlingerne var hhv. 487 og 428 mg Cu/kg TS, hvilket er højt (Tabel 6) ift. referenceområdet på 20-600 mg/kg TS. Ingen køer havde kobbermangel, men hhv. 17 og 12% af køerne på FORSØG og TYPE udviste forhøjede kobberkoncentrationer. Dette er i overensstemmelse med tidligere observationer (Kvæg-Info 2604). Da kobber er potentielt giftigt i for høje leverkoncentrationer, har dette bl.a. givet anledning til en sænkning af den anbefalede tildeling af kobber i NorFor og dannet grundlag for formuleringen af Kvæg basismineralblandingen, med reduceret kobberindhold ift. typemineralblandinger. De nærværende resultater bekræfter behovet for reduktion af kobbertildelingen til malkende køer.

Selen

Selenkoncentrationen i leveren hos køer på FORSØG var signifikant højere end på TYPE. Der var på begge behandlinger køer med både marginal lav selenstatus og forhøjet selenstatus. De forhøjede selenkoncentrationer i leveren fra især køer på FORSØG (22% af prøverne) tyder på, at seltildelingen på FORSØG var for høj. Dette stemmer også overens med tidligere observationer (KvægInfo 2604). På TYPE havde 5% af prøverne forhøjet selenindhold. Det tyder på, at TYPE-doseringen på 5 mg Se/dag (Tabel 1) ikke bør overskrides. Selen bliver i praksis ofte overdoseret, grundet mistanke om lav selenindhold i afgrøderne. Den anbefalede tildeling af selen er dog allerede opfyldt ved brug af typemineraler eller Kvæg basismineraler uden bidrag fra fodermidlerne.

Henholdsvis 12,5% (FORSØG) og 11,2% (TYPE) af selenindtagelsen blev udskilt i mælk. Selenkoncentrationen i mælk på FORSØG var ca 60% højere end på TYPE (Tabel 10). Dette kan skyldes anvendelsen af seleniseret gær på FORSØG. Det er kendt, at supplementering med seleniseret gær øger udskillelsen af selen i mælk, sandsynligvis fordi selen i seleniseret gær til dels er i form af selenomethionin, som har en lav funktionel tilgængelighed (Suttle, 2010). Det er også usikkert, om selenomethionin gavner kalvene der drikker mælken, da det sandsynligvis bliver indlejret direkte i musklerne.

Basismineralblandingen indeholder samme dosering af selen som typemineralerne og nærværende resultater giver ikke anledning til en ændring af denne tildeling.

Jod

Skjoldbruskkirtlen har et jodbehov til dannelse af thyroideahormoner. Ved en underforsyning med jod vokser skjoldbruskkirtlen for at øge jodoptagelsen (struma). Forstørrede skjoldbruskkirtler kan dog også observeres ved en overforsyning med jod. Jodmangel må derfor forventes at forårsage forstørrede skjoldbruskkirtler med lavt jodindhold, hvorimod en overforsyning med jod er sandsynlig ved forstørrede skjoldbruskkirtler med høje jodkoncentrationer. Skjoldbruskkirtler med jodkoncentrationer under 1000 mg I/kg TS har tidligere været associeret med jodmangel, men der er imidlertid fundet histologisk normale skjoldbruskkirtler med under 1000 mg I/kg TS (Suttle, 2010). Der er således ikke sikkert, at de to køer uden jodsupplement, der havde jodkoncentrationer under 1000 mg I/kg TS havde jodmangel (Tabel 7). Den positive korrelation mellem jodkoncentrationen i skjoldbruskkirtlerne og skjoldbruskkirtlernes vægt indikerer imidlertid en overforsyning med jod (Figur 6). Det tyder på, at en jodtildeling på 22,5 mg/ko/dag kan være for høj, hvilket understøtter beslutningen om en reduceret dosering, 15 mg/ko/dag, i Kvæg basismineralblandingen.

B12

Koncentrationen af B12-vitamin i leveren bruges som markør for koboltforsyningen, da kobolt i vommen bliver indlejret i mikrobiel syntese af B12-vitamin. Injektion af B12-vitamin til lakterende køer har i forsøg medført en betydelig ydelsesfremgang (Girard and Matte, 2005). Det er før konstateret, at gårdminerale ofte indeholder store mængder kobolt ift. typemineraler. Årsagen er formodentlig en forhåbning om en højere mælkeydelse faciliteret af en højere B12 status. I den tidligere opgørelse blev det konkluderet, at en højere tildeling af kobolt end doseringen i typemineraler ikke medfører en højere B12 status. Det indikerer, at koboltforsyningen fra typemineraler er behovsdækkende og tildeling ud over behov ikke resulterer i en højere B12 status. Der blev dog fundet signifikant lavere B12-koncentrationer i leveren, hvis kobolt slet ikke blev tildelt i mineralblandingen, hvilket tyder på en marginal underforsyning (KvægInfo 2604).

D-vitamin

Den højere tildeling af D-vitamin (Tabel 1) på FORSØG har resulteret i en signifikant højere D3-vitamin koncentration i blodet hos køerne i de deltagende besætninger (Tabel 8). D-vitamin mangel er af NASEM (2021) defineret som D3-vitamin koncentrationer i blodet under 5 ng/mL. Køerne med den laveste D-vitamin status havde D3-vitamin koncentrationer i blodet omkring 30 ng/mL. I den nyeste udgave af NASEM (2021) er referenceområdet for optimal koncentration af D-vitamin i blodet hævet fra 20-50 ng/mL til 30-50 ng/mL, baseret på referenceområdet hos mennesker. Disse referenceområder er ikke valideret i forsøg med kvæg. Der henvises desuden til et in vitro forsøg, der har fundet øget makrofagfunktion op til 100 ng/mL. I den forbindelse har både NRC og NorFor hævet anbefalingen for tildeling D-vitamin til 40 UI/kg kropsvægt, svarende til ca. 29.000 UI/dag.

Doseringen i typemineralerne og basismineralblandingen er 19.000 UI/dag, svarende til den forhenværende NorFor-anbefaling. Som det fremgår af Tabel 8, resulterede TYPE hos flere køer i en optimal D-vitamin status end FORSØG, hvor næsten halvdelen af køerne havde en D-vitamin status højere end 50 ng/mL. Ud fra disse resultater er en tildeling på 19.000 IE D-vitamin bedre egnet til at opnå det af NASEM (2021) definerede referenceområde for D-vitamin i blodet end 28.500 IE/dag. Det taler imod forhøjelsen af den anbefalede tildeling af D-vitamin, som NASEM (NASEM, 2021) og NorFor (Martinussen, 2022) har gennemført i 2021/2022. Blodprøverne er taget i Juni måned. Det er muligt, at køerne har være udsat for sollys. Det kan derfor ikke udelukkes, at D-vitamin status om vinteren havde været lavere. I et igangværende arbejde undersøges status baseret på blodprøver udtaget om vinteren.

E-vitamin

E-vitamin er fedtopløselig og hvis en højere tildeling af E-vitamin resulterer i en højere E-vitamin status, forventes det at øge mælkefedtets E-vitamin indhold. Således er der målt E-vitamin-koncentrationer i mælkefedt op til 50 ug/g hos køer på afgræsning imod 21,8 ug/g hos køer på staldfodring (Schingoethe et al., 1978). På trods af den ca. 17% højere tildeling af E-vitamin på FORSØG (1326 mod 1132 IE/dag), var E-vitamin koncentrationen i mælkefedt ikke højere på FORSØG (19,5 mg/kg mælkefedt) end på TYPE (19,4 mg/kg mælkefedt). Dette kan enten tyde på, at forskellen i E-vitamin tildelingen var for lav til at have en målbar effekt på køernes E-vitamin status, eller at den ekstra tildeling af E-vitamin har opfyldt et behov og er blevet opbrugt et andet sted i koen. Den øgede tildeling af E-vitamin i Kvæg basismineraler fastholdes derfor.

Produktion- og sundhedsparametre

FORSØG havde ingen statistisk signifikant effekt på køernes ydelse, reproduktion, sundhed eller klovsundhed sammenlignet med TYPE. Dette indikerer, (1) at supplerings med typemineraler opfylder malkekøers mineralbehov under danske forhold, og (2) at organisk bundne mikromineraler, naturligt E-vitamin og biotin ikke havde en detekterbar positiv effekt på køernes produktion eller sundhed. Disse observationer er i

overensstemmelse med nærværende og tidligere resultater fra vævs-, blod-, og urinprøver, der viser at brugen af typemineraler, ikke fører til mineralmangel hos malkekøer.

Biotin er vigtig for klovdannelsen og der er i flere udenlandske studier fundet bedre klovsundhed ved tildeling af 20 mg biotin/dag. Som Aaes (2005) har gjort rede for, er det under nordiske forhold ikke lykket at eftervise en positiv effekt af biotin på klovsundheden hos malkekøer, hvilket igen bekræftes gennem nærværende forsøg. Det tyder på, at biotinforsyningen er dækket gennem indholdet i foderet og gennem mikrobiel syntese i vommen, og at der ikke er en effekt af at tildele biotin ud over køernes behov.

Den meget høje mineraltildelelse, som i nogle tilfælde anvendes i praksis, kan have negative konsekvenser for dyrenes sundhed og produktion. Der er nemlig en række mineraler, som er toksiske i for høje koncentrationer, bl.a. kobber, selen og A-vitamin. Dette er ikke afspejlet i et produktions- eller sundhedsrespons i nærværende forsøg. Forsøgsblandingen er dog formuleret til kun at give en moderat højere mineralforsyning end typemineraler, for netop at minimere risikoen for forgiftninger.

Organiske mikromineraler

Organiske mikromineraler tilskrives ofte en højere værdi end de uorganiske. Den formentlige fordel er, at de organisk bundne mikromineraler ligner de naturligt forekommende i foderet og derfor bedre kan absorberes. Som Suttle (2010) påpeger, er det dog usandsynligt, at disse metal-aminosyre-komplekser kan modstå det sure miljø i løben. Den beskyttelse, som organisk bundne mikromineraler måtte have imod fytat hos enmavede dyr, er ikke af relevans hos drøvtyggere, hvor fytat nedbrydes i vommen. I værste fald medfører brugen af chelater en farlig omgåelse af de homeostatiske kontrolmekanismer, der nedregulerer mineraloptagelsen ved overforsyning (Suttle, 2010). Som beskrevet tidligere er det muligvis denne effekt, der ses i nærværende forsøg for mangan og selen.

Den teoretiske bedre absorberbarhed er kun en fordel, hvis tildelingen reduceres tilsvarende. Da køer dog generelt overforsynes med mineraler, vil absorptionen formentligt nedreguleres, hvilket fjerner eventuelle fordele ved brug af organisk bundne mikromineraler. Generelt frarådes brugen af organisk bundne mikromineraler til malkekøer.

Konklusion

Formålet med nærværende forsøg var at teste effekten af to mineraltildelinger (FORSØG og TYPE) på køers mineralstatus, sundhed og produktion. Forsøget blev udført som et toårigt overkrydsningsforsøg i 9 besætninger med i alt ca. 2000 malkekøer. FORSØG var inspireret af en gennemsnitlig gårdmineralblanding og indeholdt 50% ekstra højt opløseligt magnesium, 50% ekstra chelateret kobber, mangan og zink, 50% ekstra selen fra seleniseret gær, 50% ekstra A-, D-, og E vitamin (naturlig) ift. en type 3 blanding, samt 20 mg biotin.

Forsøget viste ingen effekt af forsøgsbehandlingerne på produktions-, klov-, reproduktions- eller sundhedsparametre. Resultaterne viste, at køernes mineralbehov var opfyldt ved brug af typemineraler. Dette understøttes af markører i lever-, blod-, urin-, og mælkeprøver, hvor der ikke blev fundet indikationer af mineralmangel ved brug af typemineraler. Der blev fundet indikationer på overforsyning med kobber og jod på begge forsøgsbehandlinger, samt muligvis overforsyning med selen på FORSØG. Desuden blev der observeret tilfælde af atypisk mælkefeber på FORSØG, hvilket rejser spørgsmålet, om atypisk mælkefeber kan hænge sammen med overforsyning med magnesium eller andre elementer i blandingen.

Nærværende resultater underbygger også formuleringen af Kvæg basismineralblanding som erstatning for typemineralblandingerne. Denne mineralblanding tilfører reduceret mængde magnesium, mangan, kobber, jod og A-vitamin ift. type 3, da behovet for disse mineraler ofte allerede er dækket af det naturlige indhold i foderet. Forsøget viste overordnet større problemer med overforsyning end underforsyning af danske malkekøer med mikromineraler, særligt for kobber, mangan og jod. Hertil tildeles generelt magnesium og A-vitamin

langt ud over køernes behov. Nærværende undersøgelse viser et behov for kritisk gennemgang af mineral- og vitaminforbruget i dansk mælkeproduktion.

Anerkendelser

Tak til alle der har bidraget til forsøget. Forsøget blev finansieret af Mælkeafgiftsfonden og muliggjort ved samarbejde med forsøgsværter, slagterier, vognmænd og dyrlæger. En særlig stor tak gælder følgende forsøgsværter, der har stillet deres besætninger til rådighed:

- Anders Overgaard Jensen, Storvorde
- André Katers, Randers
- Brian Hansen, Havndal
- Eskild Grabow Olesen, Horsens
- Hans Julius Skøtt Lervad, Jelling
- Henrik Vestergaard, Holstebro
- Jens Carsten Fredsgaard Larsen, Hejnsvig
- Kim Jørgensen, Rødding
- Lars og Emil Rasmussen, Spøttrup
- Mogens Larsen, Volsted A/S, Holstebro
- Niels Holger Nordendahl Nielsen, Nykøbing Mors
- Helene og Peter Beck Jørgensen, Bylderup Bov
- Wijnand Back, Randers

Følgende slagterier har bidraget med udtagning af vævsprøver fra slagtedyret:

- Danish Crown, Holsted
- Danish Crown, Aalborg
- Himmerlandskød, Hadsund
- Himmerlandskød, Aalestrup
- Skare Beef, Århus havn

Referencer

Cascella, M. and S. Vaqar. 2022. Hypermagnesemia. in StatPearls. Treasure Island (FL).

Girard, C. L. and J. J. Matte. 2005. Effects of intramuscular injections of vitamin B12 on lactation performance of dairy cows fed dietary supplements of folic acid and rumen-protected methionine. J Dairy Sci 88(2):671-676.

Hymoller, L. and S. K. Jensen. 2011. Vitamin D analysis in plasma by high performance liquid chromatography (HPLC) with C(30) reversed phase column and UV detection--easy and acetonitrile-free. J Chromatogr A 1218(14):1835-1841.

Jørgensen, K. 1957. Titrimetric determination of the net excretion of acid/base in urine. Scand. J. Clin. Lab. Invest 9:287-291.

Kincaid, R. L. 2000. Assessment of trace mineral status of ruminants: A review. Journal of Animal Science 77(suppl_E):1-10.

Krüger, T. and N. B. Kristensen. 2020. Effekt af type- eller gårdminerale på køernes mineralstatus, målt på lever- og urin-prøver. KvægInfo 2604. SEGES, Aarhus.

Krüger, T. and N. B. Kristensen. 2021. Kvæg basismineralblanding. KvægInfo 2610. SEGES, Aarhus.

Martinussen, H. 2022. Opdatering af anbefalingerne for mineral- og vitaminer i DMS/NorFor. SEGES Innovation P/S, Landbrugsinfo.dk.

NASEM. 2021. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. National Acad Press, Washington DC 8th.

Schingoethe, D. J., J. G. Parsons, F. C. Ludens, W. L. Tucker, and H. J. Shave. 1978. Vitamin E status of dairy cows fed stored feeds continuously or pastured during summer. v. 61.

Schonewille, J. T. and A. C. Beynen. 2005a. Reviews on the mineral provision in ruminants (III): Magnesium metabolism and requirements. CVB documentation report nr. 35. Centraal Veevoederbureau.

Schonewille, J. T. and A. C. Beynen. 2005b. Reviews on the mineral provision in ruminants (VII): Cation-Anion difference in dairy cows. CVB documentation report nr. 39. Centraal Veevoederbureau.

Suttle, N. F. 2010. Mineral nutrition of livestock: Fourth edition. in Mineral Nutrition of Livestock: Fourth Edition.

Vetter, T. and M. J. Lohse. 2002. Magnesium and the parathyroid. Curr Opin Nephrol Hypertens 11(4):403-410.