



TEST AF KALIBRERINGSSTRATEGIER FOR FODERBLANDER IN-LINE NIR

STØTTET AF

mælkeafgiftsfonden

Anvendelse af in-line NIR på foderblandere i kvægbruget, forventes at blive et redskab til at opnå bedre foderstyring.

Af Niels Bastian Kristensen, Københavns Universitet

SAMMENDRAG

Montering af NIR instrumenter på fuldfoderblandere (foderblander in-line NIR) og implementering af dynamisk NIR-baseret receptjustering (DNRJ) forventes, at kunne bidrage til forbedret foderstyring i dansk kvægbrug. DNRJ forventes særligt at have værdi ved forbedret styring af foderrest, og ved sikring af reel kontrol/overvågning af sammensætningen af foderblandinger, så større forvekslinger mellem fodermidler og lign. detekteres af systemet, inden køerne udsættes for fodringsfejl. Succesfuld implementering af DNRJ fordrer at in-line NIR instrumenterne er tilstrækkeligt præcise og akkurate. Da alle NIR instrumenter er forskellige fra hinanden og særligt den type instrumenter, der anvendes som in-line instrumenter udviser store instrument-til-instrument forskelle. En af de største udfordringer for succesfuld implementering af in-line NIR, er at indarbejde en sikker og effektiv måde til kalibrering af nye instrumenter i forbindelse med installation på kvægbedrifter. I nærværende undersøgelse testes forskellige strategier for kalibrering af foderblander in-line NIR instrumenter. Testsæt validering viste, at det var muligt at prædiktere tørstof med NIR instrument monteret på foderblander med bias omkring 0 og en standardafvigelse på prædiktionen på ca. 1 procentenhed. Der blev fundet væsentligt lavere præcision af kalibreringsmodeller baseret på laboratorieopstilling, sammenlignet med kalibreringer baseret

på scanning på foderblanderen. I det fremadrettede arbejde vil der blive fokuseret på, at bygge en bredere kalibreringsbase baseret på scanning med instrumenter monteret på foderblandere i stedet for brug af laboratorieopstillingen.

INTRODUKTION

Anvendelse af in-line NIR på foderblandere i kvægbruget, forventes at blive et redskab til at opnå bedre foderstyring (NIR = nærinfrarød spektroskopi). Der er ofte væsentlig usikkerhed forbundet med indvejning af ensilage til foderblandere, fordi tørstofkoncentrationen i ensilagen varierer, dels fordi materialet er indlagt med variation i stakken, og dels fordi skæreflader påvirkes af vejret. I perioder med tørt vejr, tørrer skæreflader af ensilagestakke op, og i perioder med nedbør, falder tørstofkoncentrationen. Dynamisk NIR-baseret receptjustering (DNRJ) forventes at kunne forbedre sikkerheden for styring af fodermængden. Mængden af restfoder er et centralt styringspunkt i kvægbruget, idet for lidt restfoder er en stor belastning af besætningen, og for stor restmængde udgør et potentielt økonomisk tab.

In-line NIR forventes også at kunne bruges til stærkere overvågning af sammensætningen af foderblandinger til kvæg. Umiddelbart, kan in-line instrumenterne ikke matche laboratorieanalyser med hensyn til at bestemme den kemiske sammensætning af fuldfoder, men in-line instrumenter forventes at kunne anvendes til at sammenholde dag til dag variation i foderblanding og "fange" større fejl f.eks. hvis fodermidler forveksles med hinanden under indvejning.

I projektet "Fodringsbiologisk optimering af fremtidens mælkeproduktion" har der siden november 2016 været arbejdet med NIR instrumenter fra Dinamica Generale, Italien. I projektet undersøges med hvilken præcision NIR apparater monteret direkte på foderblandere (in-line) kan bestemme tørstof under blandeprocessen. Det undersøges ligeledes hvilke strategier for kalibrering af nye instrumenter, der kan give sikkerhed for, at kvægbrugere kan opnå pålidelige målinger på egen bedrift.

NIR instrumenter, som dem der tænkes anvendt på foderblandere, er bestykket med diode array detektorer og alle instrumenterne afviger fra hinanden. Når nye instrumenter skal sættes i drift, er der behov for at tilpasse kalibreringerne, så det bliver muligt at prædikere foderblandingernes sammensætning på den aktuelle bedrift. Der er flere forskellige muligheder, for at foretage justeringer af kalibreringer for et nyt instrument. I nærværende undersøgelse testes, om det er muligt at bygge en kalibrering til et nyt in-line instrument ved scanning af fuldfoderprøver på laboratoriet. Det testes endvidere om man kan flytte en kalibrering fra et "master" instrument til et drift-instrument (slave), ved standardisering af de 2 instrumenter. Standardiseringen foretages på basis af scanning af referenceprøver i laboratoriet, eller måske i fremtiden ved samtidigt at scanne med flere instrumenter på den samme foderblender (særlig testblender). Endeligt testes en strategi, hvor en overflyttet kalibrering suppleres med et mindre antal in-line spektre opsamlet på foderblanderen hos den landmand, hvor det nye instrument sættes i drift.

Formålet med nærværende KvægInfo er, at undersøge præcisionen i bestemmelse af tørstof

ved in-line NIR på fuldfoderblandere og sammenligne forskellige kalibreringsstrategier.

MATERIALE OG METODE

I undersøgelsen anvendtes 2 NIR apparater (FeedScan-IC, Dinamica Generale, Italien), laboratorieopstilling, hvor begge apparater kan monteres på neddelingsbord, og en fuldfoderblander (JF-45, Kongskilde, Danmark). På blanderen blev indbygget en NIR-monteringsplade i blandekarret. NIR apparatet var på blanderen monteret i forenden af blandekarret, på første plade til højre for blandekarrets midterlinje og med "øjjet" 50 cm over blandekarrets bund (Foto 1).

Referencen for alle kalibreringsprøver er analyser af fuldfoder med tørring ved 60°C i mindst 32 timer og KMP-fuldfoder analyser. Prøver fra fuldfoderblanderen blev udtaget ved opsamling af bulk-prøve i 60-L murerbalje, og prøverne blev neddelt med kegle-neddelingsmetoden. Prøver fra KMP-fuldfoder programmet blev scannet i Skejby med in-line NIR ved anvendelse af laboratorieopstillingen, hvor NIR instrumenterne er placeret i bordpladen på et bord af rustfrit stål. Scanning blev foretaget i forbindelse med prøve-neddeling umiddelbart efter vurderingen af blandingskvalitet (KMP-fuldfoder scorer). Kun prøver med store roestykker eller andre meget heterogene prøver blev behandlet i kødhakker, inden scanning med in-line instrumentet.

Ved scanning med in-line instrumenter blev der opsamlet gennemsnitsspektre af 10 scanevents i Dinamica DG8000. For hver prøve blev der gennemført 3 scan-sekvenser ved scanning med laboratorieopstillingen og 5 scan-sekvenser ved scanning på foderblanderen.

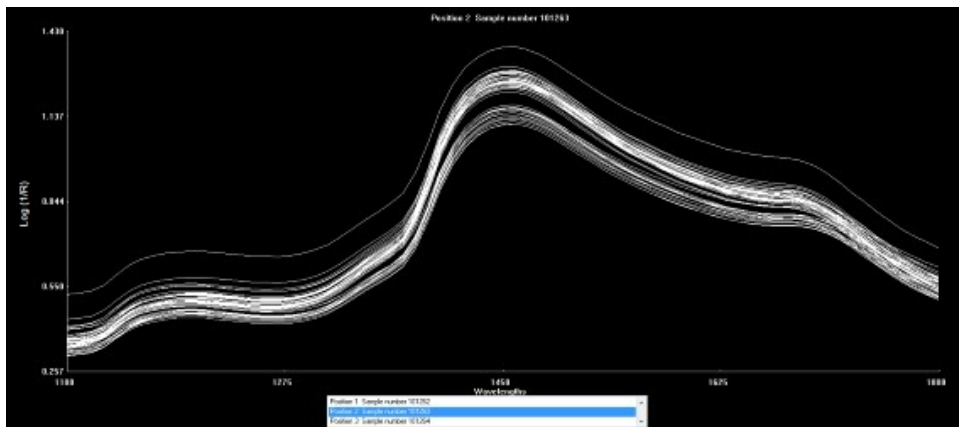


Foto 1. NIR "øjet" placeret i forenden af blandekarret. Instrumentet er placeret på første plade til højre for midterlinjen og med "øjet" 50 cm over blandekarrets bund.

Alle in-line spektre og prøver er opsamlet ved foderblanding med samme JF-45 blander på samme bedrift. Der er derfor kun en begrænset variation i de fodermidler, der anvendes til validering i nærværende undersøgelse. Den anvendte blande protokol er i overensstemmelse med standardprotokollen for Kompakt fuldfoder. Støb-mix henstod +12 timer med rapsskrå, rapskage, ludkorn og mineraler. I mellem-mix blev der først indvejet en 3. slæt græsensilage med tørstofkoncentration på ca. 35 %, efter 3 min blev der scannet og udtaget en prøve.

Herefter blev der indvejet en våd 1. slæt græsensilage, efter yderligere 3 min blev der scannet og udtaget en prøve. I slut-mix blev der indvejet majsensilage (ca. 40 % af rationstørstof) og efter 3 til 5 min, blev der opsamlet NIR scan. Prøven af slut-mix blev udtaget på foderbordet som standard KMP-fuldfoder prøve. Valideringssættet i nærværende undersøgelse bestod af i alt 10 prøver repræsenterende mellem-mix og slut-mix scannet og opsamlet over 3 dage (den ene dag blev der indsat en ekstra prøve, ved at flytte ca. halvdelen af majs mængden frem i blandeprotokollen).

Spektre blev opsamlet under password 800 i DG8000 vejesystemet. Fra USB-stik på DG8000 blev spektre overført til PC og omsat til tekstfiler med NIREvolution (ver. 2.0.0.6, Dinamica General SpA, Italien). Der blev ikke brugt instrumentkorrektion i NIREvolution. Tekstfiler fra NIREvolution blev konverteret til *.nir filer i WinISI (ver. 4.5, FOSS A/S, Danmark) med angivelse af range fra 1100 til 1800 nm og opløsning på 10 nm, i alt 71 punkter. Figur 1 viser ubehandlede spektre fra testsættet.



Figur 1. Ubehandlede spektre opsamlet med in-line NIR monteret på foderblander. Spektrene er opsamlet ved blanding af fuldfoder fra henholdsvis mellem-mix og slut-mix.

Den matematiske forbehandling af spektre blev foretaget med vektornormalisering (SNV) og med parametrene: afledt = 1, gap = 4, smooth = 4 og smooth 2 = 1 i WinISI forud for kalibrering med anvendelse af regressionsmetode = "Modified PLS".

Sammenligning mellem kalibreringer og testsæt blev foretaget ved at beregne differencen prædikeret tørstof – observeret tørstof (tørreret 60°C, NorFor-korrigeret og udtrykt i procent). Bias blev beregnet som gennemsnit af differencer. Bias-justeret SEP blev beregnet som standardafvigelsen af differencer-bias.

I det følgende er de 2 Dinamica NIR instrumenter benævnt ILMIX (in-line NIR instrument monteret på foderblander) og ILLAB (in-line NIR instrument anvendt som potentielt master instrument i in-line netværk). ILLAB havde tidligere været monteret på foderblander, så kalibreringssættet for ILLAB indeholdt både laboratorie og in-line spektre.

Tabel 1. Definitioner af de kalibreringsstrategier der testes i nærværende undersøgelse.

Kalibreringsmetode	Beskrivelse	In-line spektre opsamlet med ILMIX indgår i kalibreringen
A	Kalibreringen er baseret på NIR scanning i laboratoriet under anvendelse af det instrument, der i nærværende undersøgelse er monteret på foderblanderen, ILMIX	Nej
B	Samme data som A + spektre opsamlet på foderblanderen med samme instrument, ILMIX	Ja
C	Kalibrering af ILMIX baseres på ILLAB spektre opsamlet som B. ILLAB spektre transformeres til ILMIX spektre baseret på "Single sample STD" i WinISI (version 4.5, FOSS A/S)	Nej
D	Samme data som C + in-line ILMIX spektre opsamlet på foderblanderen	Ja

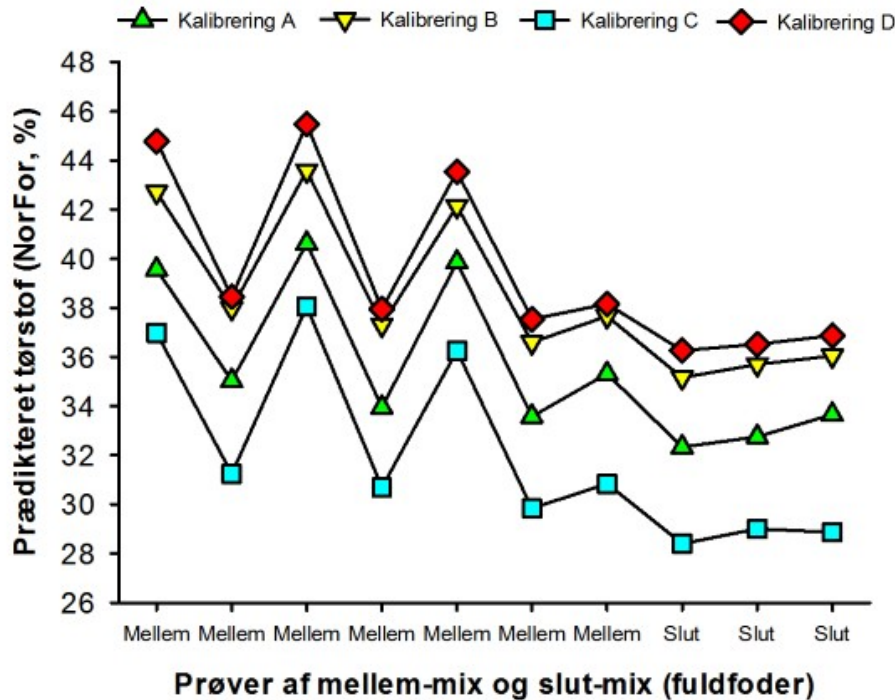
RESULTATER OG DISKUSSION

Tabel 2 viser en oversigt over de 4 kalibreringsstrategier og resultater fra krydsvalidering af kalibreringsmodellerne for tørstof. Forholdet mellem standardafvigelsen og SEP-værdien ligger mellem 3,43 og 4,50 for kalibreringerne og viser, at alle kalibreringer er af middel styrke. Målesituationen er scanning af våde heterogene prøver, så opnåelse af middel styrke for kalibreringerne er umiddelbart lovende for applikationen.

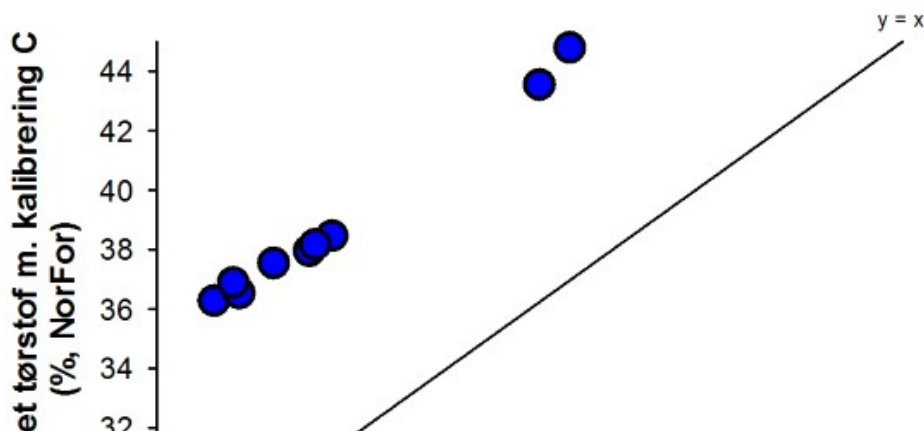
Tabel 2. Datagrundlag og validering af kalibreringerne A, B, C og D for bestemmelse af tørstof ved foderblander in-line NIR. Bemærk, at antallet af unikke prøver er mindre end antallet af spektre (fra 3 til 5 spektre pr prøve). ILMIX er NIR instrument der valideres på foderblander. ILLAB er et instrument der i nærværende test anvendes som eksempel på "master" i in-line NIR netværk. SEP er standardafvigelsen på prædiktionen bestemt ved krydsvalidering. STD/SEP er standardafvigelsen for datasættet divideret med SEP-værdien og er et udtryk for kalibreringens styrke.

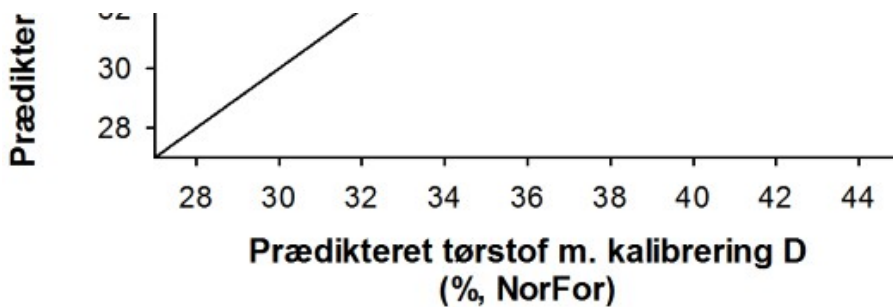
	Kalibrering A	Kalibrering B	Kalibrering C	Kalibrering D
Total antal spektre i kalibreringen	803	866	689	752
ILMIX spektre fra laboratorieopstilling	803	803		
ILMIX spektre fra foderblander		63		63
ILLAB spektre fra laboratorieopstilling			549	549
ILLAB spektre fra foderblander			140	140
Gennemsnit datasæt, % tørstof	39,22	39,06	39,17	39,01
Standardafvigelse datasæt	4,64	4,59	4,89	4,80
SEP fra krydsvalidering	1,29	1,34	1,22	1,18
STD/SEP	3,60	3,43	4,01	4,07

Brug af de 4 kalibreringer til prædiktion af tørstof i testsættet viser, at der er relativ stor variation i det prædikterede niveau (Figur 2). Rangeringen af prøverne er derimod meget ensartet ved prædiktion med de forskellige kalibreringer. Figur 3 viser den høje korrelation ($r = 0,997$) mellem kalibrering C og D til trods for, at forskellen i middelværdi mellem kalibreringerne er større end 7 procentenheder.



Figur 2. Figuren viser hvordan kalibreringerne A – D prædikerer tørstof opsamlet ved in-line scanning på JF-45 foderblanderen. Spektre og prøver er opsamlet over 3 dage, hvor der blev scannet og udtaget prøver 3 eller 4 gange under blandedprocessen. Der er ikke scannet på støb-mix, men på mellem-mix efter tilsætningen af hver ensilageingrediens og i slut-mix. Prøverne blev udtaget ved aflæsning i 60-L murerbalje og neddelte ved kegleneddeling.





Figur 3. Figuren viser høj korrelation ($r = 0,997$) mellem prædiktioner med kalibrering C og D, som rangerer prøver ens, men niveauet er forskelligt.

I Tabel 3 vises validering af kalibreringerne med anvendelse af uafhængigt testsæt opsamlet over 3 dage. Det observeres, at kalibrering A bygget alene på scanning i laboratoriet med ILMIX instrumentet, har høj bias og den højeste SEP. Kalibrering A prædikterer tørstof i foderblanderen med lavest sikkerhed af alle testede kalibreringer. Kalibrering B, hvor der er inddraget in-line spektre fra den aktuelle JF-45 blander, sammen med spektre fra laboratorieopstillingen, i kalibreringen, prædikterede tørstof i blanderen med langt mindre bias og med lavere SEP, sammenlignet med A. Fælles for kalibreringer A og B, var at de var bygget alene under anvendelse af det instrument (ILMIX), der under valideringstestet var monteret på foderblanderen. Den relativt store forskel mellem kalibrering A og B i favør af B viser, at scanning med anvendelse af laboratorieopstillingen tilsyneladende ikke giver nogen tilfredsstillende repræsentation af scanning på foderblanderen. Denne konklusion drages dog med et forbehold, idet in-line testet i nærværende undersøgelse alene er baseret på test med en enkelt foderblander og et enkelt sæt fodermidler. Der er behov for at teste, om styrken af kalibreringer funderet på in-line data også er gældende for et datasæt, der dækker et større variationsområde med hensyn til de anvendte fodermidler og forskellige foderblendere.

For anvendelse af in-line NIR i stor skala vil det være en væsentlig omkostning, hvis alle instrumenter skulle kalibreres op fra bunden med scanning af våde prøver på foderblendere. Derfor er kalibrering C og D testet som mulige løsninger for, hvordan nye instrumenter kunne sættes i drift. Kalibrering C er en kalibrering flyttet fra et "master" instrument (ILLAB) til instrumentet på foderblanderen (ILMIX). Flytningen er foretaget ved at måle en referenceprøve på begge instrumenter, og herefter standardisere spektre fra ILLAB til anvendelse ved kalibrering af ILMIX. Det bemærkes, at overførsel af kalibreringen mellem instrumenterne resulterede i meget stor bias. SEP-værdien var dog ikke forskellig mellem kalibrering C og D.

Kalibrering D var den kalibrering med mindst bias (0,02 procentenheder) og med den numerisk laveste SEP-værdi. Sammenhængen mellem prædikterede og observerede værdier ved test af kalibrering D, er vist i Figur 4. Figur 4 kunne umiddelbart antyde, at præcisionen var lavere for in-line NIR scanning af mellem-mix sammenlignet med slut-mix, men dette behøver ikke være tilfældet, idet prøver af mellem-mix er langt vanskeligere at neddele end prøverne af slut-mix, og blanderen har ved udtagning af mellem-mix, arbejdet i kortere tid med forholdsvis heterogent materiale. Det kan derfor ikke udelukkes, at den tilsyneladende lavere præcision

med in-line NIR scanning på mellem-mix, kan være forårsaget af usikkerheder stammende fra blandingens inhomogenitet og neddeling af baljeprøven.

Tabel 3. Resultater af validering af kalibreringerne A til D under anvendelse af testsæt af spektre og prøver udtaget fra foderblander monteret med NIR. Der er analyseret 10 prøver af mellem-mix og slut-mix udtaget fra blanderen. Der blev opsamlet 5 x 10 middelspektre for hver prøve.

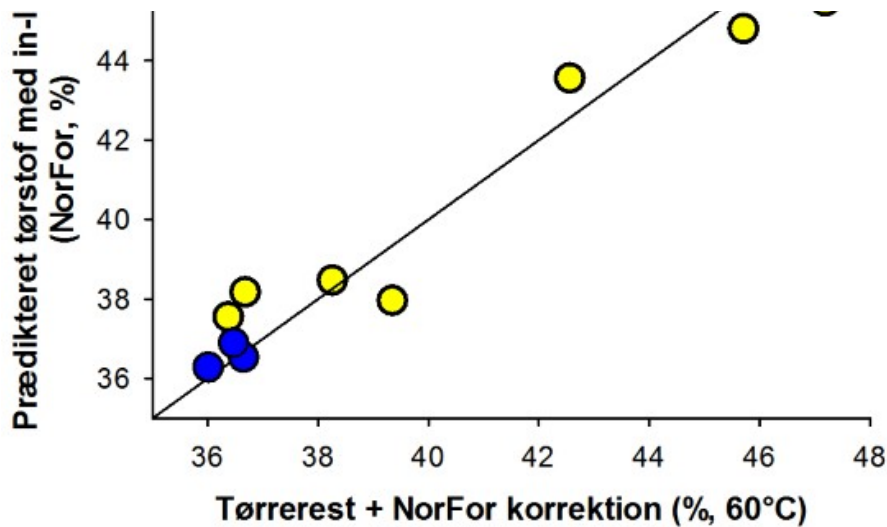
	Kalibrering A	Kalibrering B	Kalibrering C	Kalibrering D
Tørstof, middelværdi for testsæt, % NorFor	39,56	39,56	39,56	39,53
Tørstof, NIR prædiktion, % NorFor	35,66	38,49	32,02	39,56
Bias	-3,87	-1,05	-7,52	0,02
SEP (bias-justeret)*	1,58	1,36	1,04	1,02
Sammenhæng mellem testsæt og prædiktationer, R ²	0,871	0,926	0,939	0,945

*Standardafvigelsen på prædiktionsfejl justeret for bias.

I nærværende undersøgelse er kalibrering D, den kalibrering der prædikerer in-line tørstof med mindst bias, lavest SEP og højeste korrelation til observerede værdier. Kalibrering D er bygget på det største antal in-line spektre og indeholder spektre overført fra ILLAB, der tidligere har været monteret på samme foderblander som ILMIX. Undersøgelsen indikerer, at spektre fra in-line målesituationen er afgørende for kalibreringsmodellernes styrke, og at forskellen mellem instrumenter ikke umiddelbart kunne kompenseres med den anvendte standardiseringsmetode. Derfor indikerer denne undersøgelse, at proceduren med at scanne prøver af fuldfoder med laboratorieopstilling i Skejby ikke i sin nuværende form er en hensigtsmæssig måde at opbygge kalibreringer til foderblander in-line NIR instrumenter. Målesituationen på foderblanderen giver et markant aftryk i de opsamlede spektre. Dette skal der tages højde for i arbejdet med opbygning af prædiktionsmodeller til anvendelse på foderblandere.

Vanskelighederne forbundet med brug af spektre optaget i laboratoriet til opbygning af kalibreringer til brug in-line, og problemerne med at opsamle spektre, der er præcise nok til at foretage standardisering af instrumenter, betyder, at der i projektet (Fodringsbiologisk optimering af fremtidens mælkeproduktion) vil blive testet en anden kalibreringsstrategi. Der vil blive installeret NIR på en foderblander, der sendes på tur for at scanne fuldfoder hos så mange mælkeproducenter som muligt. Det vil blive prioriteret at besøge bedrifter, hvor det enten er muligt at foretage blanding med en 22 m³ foderblander i henhold til principperne for kompakt fuldfoder, eller hvor en portion på 6 til 9 tons fuldfoder gemmes fra egen blander og læses i forsøgsblanderen til måling med NIR og prøveudtagning. For alle blandinger eller blandetrin der testes med blanderen monteret med NIR, vil der blive udtaget en prøve, som analyseres som KMP-fuldfoder prøve i Skejby.





Figur 4. Sammenhæng mellem prædikeret og observeret tørstof i mellem-mix og slut-mix ved in-line NIR måling på foderblander. Bias = 0,02, SEP = 1,02 og $R^2 = 0,945$.

KONKLUSION

Testsæt validering af in-line NIR viste, at det var muligt at prædikere tørstof med NIR instrument monteret på foderblander med bias på 0,02 procentenheder og en standardafvigelse på prædiktionen på ca. 1 %. Der blev fundet væsentligt lavere præcision af kalibreringsmodel baseret på laboratorieopstilling alene, sammenlignet med kalibreringer baseret på scanning på foderblanderen. I det fremadrettede arbejde vil der blive fokuseret på, at bygge en bredere kalibreringsbase, baseret på scanning med instrumenter monteret på foderblandere i stedet for anvendelse af laboratorieopstillingen.