



Invloed van eiwit gehalte in rantsoen op duurzaamheidsindicatie in de melkveehouderij

Analyse KringloopWijzer data 2020 en 2021 voor de projecten Koe & Eiwit en Home Made Eiwit

H. Mollenhorst, M.H.A. de Haan, P.J. Galama, A.P. Philipsen

OPENBAAR RAPPORT 1458



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Invloed van eiwitgehalte in rantsoen op duurzaamheidsindicatoren in de melkveehouderij

Analyse KringloopWijzer data 2020 en 2021 voor de projecten Koe & Eiwit en Home Made Eiwit

H. Mollenhorst, M.H.A. de Haan, P.J. Galama, A.P. Philipsen

Wageningen Livestock Research

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen Livestock Research en gesubsidieerd door het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, in het kader van het Beleidsondersteunend onderzoek thema 'Verminderen fossiele nutriënten en emissies naar bodem, water en lucht' (projectnummer BO-43-101-048) en de PPS 'Duurzame Zuivelketen 2030' (LWV19256), onderdeel C1: Home made eiwit.

Wageningen Livestock Research
Wageningen, december 2023

Rapport 1458

Mollenhorst, et al., 2023. Invloed van eiwitgehalte in rantsoen op duurzaamheidsindicatoren in de melkveehouderij; *Analyse KringloopWijzer data 2020 en 2021 voor het project Koe & Eiwit en Home Made Eiwit*. Wageningen Livestock Research, Openbaar Rapport 1458.

Samenvatting NL In deze studie is onderzocht wat de relaties zijn tussen en verklarende variabelen voor indicatoren, gerelateerd aan ammoniakemissie, eiwitvoeding en eiwit van eigen land, die bepaald kunnen worden op basis van de data uit KringloopWijzer (Melkveehouderij). Daarnaast is ook gekeken naar mogelijke gevolgen voor andere duurzaamheidsindicatoren, zoals broeikasgasemissies. De uitkomsten geven verbanden weer tussen variabelen zoals die gelden voor de gehele set van bedrijven en op basis van de rekenwijze van de KringloopWijzer. Voor de verklaring van het ruw eiwitgehalte (RE-gehalte) in het rantsoen zijn vooral rantsoenkenmerken zoals RE-gehalte van de eiwitrijke componenten (grasproducten en krachtvoer) en aandeel in het rantsoen van de overige voergroepen (mais, overig ruwvoer en bijproducten) van belang. Voor de verklaring van ammoniakemissie per ha blijkt het RE-gehalte van het rantsoen, na intensiteit, een belangrijke verklarende variabele te zijn. Daarnaast spelen factoren als emissiereductiepercentage van de melkveestal, bemestingsniveau en jongveebezetting een rol. Als beide uitgedrukt worden per kg melk, zijn broeikasgas- als ammoniakemissie licht positief gecorreleerd, hetgeen aangeeft dat een gelijktijdige goede score op beide indicatoren mogelijk is. Ook bij de verklaring van het percentage eigen eiwit in het rantsoen speelt intensiteit een belangrijke rol, naast het RE-gehalte van de verschillende voergroepen en hun aandelen in het rantsoen.

Summary UK This study investigated the relationship between and explaining variables for indicators, related to ammonia emission, protein feeding and home grown protein, as determined by the Annual Nutrient Cycling Assessment tool for the dairy sector. Furthermore, possible effects on other sustainability indicators, like greenhouse gas emissions, were assessed. The results show relations between variables as determined on the whole set of farms and given the calculation rules of the tool. The crude protein (CP) content of protein rich diet components, i.e., grass products and concentrates, and the shares of other diet components, i.e., maize, other roughages and co-products, are the most important explaining variables for the CP content of the ration. For explaining the ammonia emission per ha, after intensity, the CP content of the diet is an important variable. Next to this variable, emission reduction percentage of the dairy barn, fertilization level and herd composition are important factors. When both are expressed per kg milk, greenhouse gas and ammonia emissions are slightly positively correlated, meaning that a simultaneous good score on both indicators is possible. Also in the explanation of the variation in home grown protein in the ration, intensity plays an important role, next to the CP content of the different diet components and their shares in the diet.

Dit rapport is gratis te downloaden op <https://doi.org/10.18174/644262> of op www.wur.nl/livestock-research (onder Wageningen Livestock Research publicaties).



Dit werk valt onder een Creative Commons Naamsvermelding-Niet Commercieel 4.0 Internationaal-licentie.

© Wageningen Livestock Research, onderdeel van Stichting Wageningen Research, 2023

De gebruiker mag het werk kopiëren, verspreiden en doorgeven en afgeleide werken maken. Materiaal van derden waarvan in het werk gebruik is gemaakt en waarop intellectuele eigendomsrechten berusten, mogen niet zonder voorafgaande toestemming van derden gebruikt worden. De gebruiker dient bij het werk de door de maker of de licentiegever aangegeven naam te vermelden, maar niet zodanig dat de indruk gewekt wordt dat zij daarmee instemmen met het werk van de gebruiker of het gebruik van het werk. De gebruiker mag het werk niet voor commerciële doeleinden gebruiken.

Wageningen Livestock Research aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Wageningen Livestock Research is NEN-EN-ISO 9001:2015 gecertificeerd.

Op al onze onderzoeksopdrachten zijn de Algemene Voorwaarden van de Animal Sciences Group van toepassing. Deze zijn gedeponeerd bij de Arrondissementsrechtbank Zwolle.

Inhoud

Woord vooraf	5
Samenvatting	7
1 Inleiding	9
1.1 Doelen	9
1.2 Afbakening	9
1.3 Vooraf opgestelde vragen	10
2 Materiaal en methode	11
2.1 Beschrijving van de dataset	11
2.2 Data-analyse	11
3 Resultaten	12
3.1 Ruw eiwitgehalte in het rantsoen	12
3.1.1 Beschrijvende statistiek en representativiteit K&E-deelnemers (vraag 1 - 5)	12
3.1.2 Relatie RE-gehalte in rantsoen en RE/kVEM (vraag 7)	14
3.1.3 Relatie RE-gehalte in rantsoen en ureum (vraag 15)	14
3.1.4 Relatie RE-gehalte in rantsoen en jongveebezetting (vraag 23)	15
3.1.5 Verklarende variabelen RE-gehalte in rantsoen (vraag 18, 19, 20)	16
3.1.6 Kenmerken van 10 % bedrijven met laagste en hoogste RE-gehalte rantsoen (vraag 17)	17
3.2 Ammoniakemissie	18
3.2.1 Relatie NH ₃ -emissie en RE-gehalte rantsoen (vraag 6, 9)	18
3.2.2 Relatie NH ₃ -emissie en ureum (vraag 16)	19
3.2.3 Relatie NH ₃ -emissie en N-bedrijfsoverschot (vraag 10)	19
3.2.4 Verklarende variabelen NH ₃ -emissie (vraag 13, 14)	20
3.3 Broeikasgassen	22
3.3.1 Relatie broeikasgasindicatoren en RE-gehalte rantsoen (vraag 8, 21)	22
3.3.2 Relatie NH ₃ -emissie en broeikasgasemissies (vraag 11, 12)	24
3.4 Eiwit van eigen land	25
3.4.1 Relatie eiwit van eigen land en RE-gehalte rantsoen (vraag 22)	25
3.4.2 Verklarende variabelen eigen eiwit in rantsoen (vraag 24, 25)	26
3.4.3 Kenmerken van 25 % bedrijven met hoogste percentage eiwit van eigen land in het rantsoen (vraag 26)	30
4 Discussie en conclusies	32
4.1 Ruw eiwitgehalte in het rantsoen	32
4.2 Ammoniakemissie	33
4.3 Broeikasgassen	33
4.4 Eiwit van eigen land	33
Literatuur	34
Bijlage 1 Rekenregels controle dataset	35
Bijlage 2 Overzicht gebruikte variabelen	37

Woord vooraf

Dit rapport analyseert de data uit de KringLoopWijzers (KLW) van 2020 en 2021 van alle melkveehouders in Nederland. Voor het beschikbaar stellen van deze data willen we ZuivelNL bedanken. De KLW's bevatten een schat aan informatie over de duurzaamheid van de bedrijven. Het doel van dit rapport is om de relatie tussen deze duurzaamheidsindicatoren en de doelen in het project Koe & Eiwit, gericht op 155 ruw eiwit per kg droge stof in het melkveerantsoen, en het project 'Home Made Eiwit', gericht op voldoende eigen eiwit in het rantsoen, aan te geven. Het project Koe en Eiwit wordt gefinancierd door het Ministerie LNV en 'Home Made Eiwit' door de PPS Duurzame Zuivelketen.

Het project Koe en Eiwit is begin 2022 gestart met ruim 150 melkveehouders en loopt door t/m 2025. De data van 2020 en 2021 kunnen beschouwd worden als een nulmeting. Tevens geeft de vergelijking tussen de deelnemers in het project en het landelijk gemiddelde aan in hoeverre het startpunt qua ruw eiwit in het rantsoen gelijk is. Veel leesplezier toegewenst.

Paul Galama,
Projectleider Koe en Eiwit

Samenvatting

Vanuit de projecten 'Koe & Eiwit' en 'Home Made Eiwit' zijn diverse vragen gesteld over relaties tussen en verklarende variabelen voor indicatoren die bepaald kunnen worden op basis van de data uit de centrale database KringloopWijzer. 'Koe & Eiwit' is een project waarin Wageningen Livestock Research samenwerkt met adviseurs, voerindustrie en dierenartsen om ruim 150 melkveehouders te begeleiden naar een rantsoen van gemiddeld 155 g ruw eiwit (RE) per kg droge stof in het melkveerantsoen. 'Home Made Eiwit' is een project binnen de PPS van de Duurzame Zuivelketen waarin één van de doelen is om het brede publiek te informeren over invloeden van bedrijfsvoering en bedrijfskenmerken op het duurzaamheidscriterium 'eiwit van eigen land'. De motivatie achter het project 'Koe en Eiwit' is dat de ammoniakemissie van de melkveehouderij omlaag moet. Het voerspoor (minder eiwit voeren) kan mogelijk een kosteneffectieve methode zijn. Maar wat zijn dan de mogelijke gevolgen voor andere duurzaamheidsindicatoren, zoals broeikasgasemissies of eiwit van eigen land? En daarmee komen we ook bij de vraag vanuit het project 'Home Made Eiwit' naar de gevolgen van de verandering in rekenwijze voor het criterium eiwit van eigen land, waardoor het nu: 'eigen eiwit in het rantsoen' weergeeft. Door de veranderde rekenwijze zullen andere factoren bepalend worden ten opzichte van eerdere inventarisaties. De analyses zijn uitgevoerd met data van 2020 en 2021, doorgerekend met de KringloopWijzer versie van het betreffende jaar. De resultaten in de database van de KringloopWijzer zijn uitkomsten van modelberekeningen. Hoewel deze zo bedrijfsspecifiek als mogelijk zijn, hebben modelberekeningen altijd aannames en zijn daarmee een vereenvoudiging van de werkelijkheid. Dat betekent onder ander dat niet de 'gerealiseerde' resultaten geregistreerd zijn, maar de 'berekende' resultaten. De uitkomsten zoals weergegeven in dit rapport geven verbanden weer tussen variabelen zoals die gelden voor de gehele set van bedrijven op basis van de rekenwijze van de KringloopWijzer. Daarnaast moet onderkend worden dat het gaat om resultaten over bedrijven heen en dat de resultaten dus kenmerken weergeven van bedrijven met betere/minder goede prestaties op bepaalde indicatoren en dat het niet perse een direct oorzakelijk verband betreft. Deze uitkomsten zijn daarom ook minder geschikt om direct managementmaatregelen voor individuele bedrijven uit af te leiden. De bedrijven in het project 'Koe & Eiwit' vormen een goede afspiegeling van de totale groep melkveehouders voor wat betreft het gevoerde RE-gehalte in het rantsoen, ook als dit per grondsoort of intensiteitsklasse wordt bekeken. De correlatie tussen RE-gehalte in het rantsoen en ureumgehalte in de melk bleek vrij zwak, hetgeen duidt op een complexere relatie tussen deze twee kengetallen. Voor de verklaring van verschillen in RE-gehalte in het rantsoen tussen bedrijven zijn vooral rantsoenkenmerken zoals RE-gehalte van de eiwitrijke componenten (grasproducten en krachtvoer) en aandeel in het rantsoen van de overige voergroepen (mais, overig ruwvoer en bijproducten) van belang. De directe, één-op-één, relaties tussen RE-gehalte in het rantsoen, ureum gehalte in de melk of N-overschot per ha ten opzichte van NH₃-emissie per ha blijken zeer gering te zijn. Kijkend naar de verklarende variabelen voor NH₃-emissie per ha blijkt het RE-gehalte van het rantsoen, na intensiteit, wel degelijk een belangrijke verklarende variabele te zijn. Daarnaast spelen factoren als emissiereductiepercentage van de melkveestapel, bemestingsniveau en opbouw van de veestapel een rol. Dat na intensiteit RE-gehalte van het rantsoen de belangrijkste verklarende variabele is, geeft aan dat binnen een bepaalde bedrijfsopzet (intensiteit, staltype, etc) de NH₃-emissie te verlagen is door het RE-gehalte in het rantsoen te verlagen. Als beide uitgedrukt worden per kg melk, zijn broeikasgas- als ammoniakemissie licht positief gecorreleerd, hetgeen aangeeft dat een gelijktijdige goede score op beide indicatoren mogelijk is. De directe relatie tussen RE-gehalte in het rantsoen en eiwit van eigen land is gering. Dit komt vooral doordat er een grote invloed van intensiteit is bij de verklaring van het percentage eigen eiwit in het rantsoen. En daarnaast zijn het RE-gehalte van de verschillende voergroepen en hun aandelen in het rantsoen belangrijker dan het totale RE-gehalte van het rantsoen. Uit een analyse per intensiteitsklasse bleek dat vooral de RE-gehalten van de eigen verbouwde voergroepen gras en mais en hun aandelen in het rantsoen van belang zijn in de voorspelling van het aandeel eiwit van eigen land, maar ook de verhouding tussen RE- en energiegehalte in het rantsoen kwam in alle modellen als verklarende variabele die van belang is naar voren.

1 Inleiding

In het project Koe & Eiwit (K&E; volledige naam: 'Verminderen fossiele nutriënten en emissies naar bodem, water en lucht'; projectnummer BO-43-101-048) werkt Wageningen Livestock Research (WLR) samen met adviseurs, voerindustrie en dierenartsen om ruim 150 melkveehouders te begeleiden naar een rantsoen van gemiddeld 155 g ruw eiwit (RE) per kg droge stof (ds) in het melkveerantsoen (melkkoeien en bijbehorend jongvee). De achtergrond is dat de ammoniakemissie van de melkveehouderij omlaag moet. Via het voerspoor (minder eiwit voeren) kan mogelijk een kosteneffectieve methode te zijn.

In het deelproject "Home Made Eiwit" binnen de PPS van de Duurzame Zuivelketen (LWV19256) is één van de doelen om het brede publiek te informeren over invloeden van bedrijfsvoering en bedrijfskenmerken op het duurzaamheidscriterium 'eiwit van eigen land'. In 2021 is de rekenwijze van dit criterium aangepast waardoor het nu: 'eigen eiwit in het rantsoen' weergeeft. Door de veranderde rekenwijze zullen andere factoren bepalend worden ten opzichte van eerdere inventarisaties (Mollenhorst and De Haan, 2021).

1.1 Doelen

De gehele melkveesector en de overheid moet van dit project leren. Wat zijn de mogelijkheden en de onmogelijkheden van laag eiwit voeren. Van de gehele Nederlandse melkveehouderij zijn veel data aanwezig over melkveehouderij, voeding en milieuprestaties in de KringloopWijzer. Daarnaast zijn deze gegevens ook in beeld van de 155 melkveebedrijven die meedoen aan het project K&E. Deze data geven veel mogelijkheden voor analyse en om van te leren, in het bijzonder met betrekking tot verschillen tussen bedrijven in gevoerd RE-niveau, ammoniakemissie (NH₃-emissie) en andere duurzaamheidsindicatoren, zoals broeikasgasemissies (BKG-emissies) of eiwit van eigen land.

1.2 Afbakening

De analyses worden uitgevoerd met data van 2020 en 2021. Data van 2022 zijn buiten beschouwing gelaten, omdat die nog niet beschikbaar waren. Omdat de data van beide jaren waren doorgerekend met de KringloopWijzer versie van het betreffende jaar (Van Dijk et al., 2020, 2021) zijn beide jaren niet samengevoegd voor de analyse maar worden resultaten afzonderlijk gepresenteerd, of op basis van 1 jaar. De resultaten in de database van de KringloopWijzer zijn uitkomsten van modelberekeningen. Hoewel deze zo bedrijfsspecifiek als mogelijk zijn, hebben modelberekeningen altijd aannames en vereenvoudigingen van de werkelijkheid. Dat betekent onder ander dat niet de 'gerealiseerde' resultaten geregistreerd zijn, maar de 'berekende' resultaten. Uiteindelijk betekent werken met modeluitkomsten dat niet altijd de 'echte' relaties zichtbaar gaan worden, maar dat deze soms vertekend kunnen zijn door aannames. Daarom is het ook altijd belangrijk om statistische analyse te combineren met expertkennis. De uitkomsten zoals weergegeven in dit rapport geven dus verbanden weer tussen variabelen zoals die gelden voor de gehele set van bedrijven en gegeven de rekenregels van de KringloopWijzer. Daarnaast moet onderkend worden dat het gaat om resultaten over bedrijven heen en dat de resultaten dus kenmerken weergeven van bedrijven met betere/minder goede prestaties op bepaalde indicatoren en niet perse een direct oorzakelijk verband. Deze uitkomsten zijn daarom ook minder geschikt om direct managementmaatregelen voor individuele bedrijven uit af te leiden.

De analyses met betrekking tot eiwit van eigen land zijn uitgevoerd op data van 2021, omdat in dat jaar voor het eerst van de nieuwe rekenwijze gebruik is gemaakt en dus ook alleen voor dat jaar de vergelijking tussen de oude en nieuwe rekenwijze gemaakt kan worden.

1.3 Vooraf opgestelde vragen

Vanuit het project Koe & Eiwit zijn de volgende vragen gesteld:

1. Wat is het gemiddeld RE-gehalte in het rantsoen van alle NL-melkveebedrijven (+spreiding, jaarinvloeden)?
2. Wat is het gemiddeld RE-gehalte in het rantsoen van de melkveebedrijven onderverdeeld in de groepen klei, veen en zand en de intensiteitsklassen $<14.000 < 20.000 > 20.000$ kg melk per ha.
3. Zie 1, maar dan van alle deelnemende bedrijven aan het project Koe en eiwit.
4. Zie 2, maar dan van alle deelnemende bedrijven aan het project Koe en Eiwit.
5. Hoe representatief is de projectgroep i.r.t. geheel NL?
6. Wat is de relatie tussen ammoniakemissie en RE-gehalte in het rantsoen? (NB, veel is al bepaald door de formules).
7. Wat is de relatie tussen RE-gehalte in het rantsoen en RE/kVEM in het rantsoen?
8. Wat is de relatie tussen RE-gehalte in het rantsoen en methaanemissie (CH₄-emissie) uit pensfermentatie?
9. Wat is de relatie tussen ammoniakemissie en RE/kVEM in het rantsoen?
10. Wat is de relatie tussen ammoniakemissie en stikstofoverschot per ha op bedrijfsniveau (niet bodemoverschot)?
11. Wat is de relatie tussen ammoniakemissie (kg/ha) en broeikasgasemissie (LCA per kg meetmelk)?
12. Wat is de relatie tussen ammoniakemissie (kg/ha) en CH₄-emissie uit pensfermentatie?
13. Wat is de rol van RE-gehalte in het rantsoen bij verklaring van de ammoniakemissie?
14. Welke factoren spelen een belangrijke rol bij de verklaring van de ammoniakemissie? Denk aan RE-rantsoen, RE/kVEM, weidegang, intensiteit, mestgift/ha, kunstmestgift, staltype, aandeel mais in rantsoen, aandeel mais in bouwplan, grondsoort, methode mesttoediening, mestsoort, ureum, melk/koe, jongveebezetting/10 mk, stikstofoverschot op bedrijfsniveau per ha, stikstofbodemoverschot, ...
15. Wat is de relatie tussen het melkureumgehalte en RE-gehalte in het rantsoen?
16. Wat is de relatie tussen melkureumgehalte en ammoniakemissie?
17. Wat kenmerkt de 10% bedrijven met het laagste Re-gehalte in het rantsoen en de 10 % bedrijven met hoogste RE-rantsoen?
18. Welke factoren hebben effect op het RE-gehalte in het rantsoen (denk aan aandeel mais, Re-gehalte gras, graskuil, weidegang, melk/koe, krachtvoergift, RE-gehalte krachtvoer, aandeel bijproducten, intensiteit, grondsoort, bemesting, jongveebezetting, bouwplan, ...)?
19. Wat zijn belangrijke parameters die het RE-gehalte in de graskuil bepalen (bemesting, grondsoort, ...)?
20. Wat zijn belangrijke parameters die het RE-gehalte in de graskuil bepalen, maar dan met de verklarende factoren uit vraag 17 als verklarende factor?
21. Wat is de relatie van RE-gehalte in het rantsoen met CH₄-emissie uit pensfermentatie, met CH₄-emissie totaal, met lachgasemissie en met broeikasgasemissies (LCA/kg meetmelk).
22. Wat is de relatie tussen eiwit van eigen land en RE-gehalte in het voer?
23. Wat is de relatie tussen de jongveebezetting en het totale RE-gehalte in het rantsoen?

Vanuit het project 'Eiwit van eigen land' was aandacht gevraagd voor de volgende punten:

24. Wat zijn de meest belangrijke factoren die eigen eiwit in het rantsoen bepalen, bij de nieuwe rekenwijze?
25. Er lijkt aanleiding om onderscheid te maken in bedrijven die voer over hebben en bedrijven die net zelfvoorzienend zijn of ruwvoer aan moeten kopen. Daarom is het gewenst om twee regressies te doen. Boven en onder de 14.000 kg melk per ha.
26. Verbeterpotentieel in beeld krijgen en prestatie van 25% bedrijven met hoogste aandeel eigen eiwit in het rantsoen weergeven. En aan de andere kant prestatie van 75% bedrijven overige bedrijven in beeld brengen.

2 Materiaal en methode

2.1 Beschrijving van de dataset

Alle KringloopWijzer resultaten van heel Nederland van 2020 en 2021 waren geanonimiseerd beschikbaar evenals alle KringloopWijzer resultaten van de 155 melkveehouders die deelnemen in het project K&E. De dataset is 'gescreend' op basis van de in Bijlage 1 gegeven criteria, hetgeen een beperkte controle is op onjuiste invoer. Dit resulteerde in een gebruikte dataset van 12.756 records, waarvan 136 K&E deelnemers, uit 2020 en 11.431 records, waarvan 111 K&E deelnemers, uit 2021.

De dataset bevat structuurdata van de melkveebedrijven zoals aantallen dieren, oppervlakte, bouwplan, grondsoort en melkproductie, maar ook managementdata over rantsoen, bemesting, beweiding en gewasopbrengst. En daarnaast natuurlijk de uitkomsten van de KringloopWijzer betreffende prestaties van de melkveebedrijven op het gebied van mineralenoverschotten, bodemoverschotten, emissies van NH₃ en broeikasgassen, eiwit van eigen land, aandeel grasland en mestproducties.

2.2 Data-analyse

De data-analyse is uitgevoerd met het programma RStudio (version 2022.07.0+548 running R version 4.2.1). Voor de beschrijvende statistiek is o.a. gebruik gemaakt van het pakket dplyr (version 1.0.7), en diverse basispakketten binnen R. Bij analyses van één-op-één relaties tussen twee indicatoren of variabelen is uitsluitend naar de correlatie (lineair verband) gekeken, waarbij de correlatie is weergegeven middels een R^2 om deze eenvoudiger vergelijkbaar te maken met de R^2 van andere modellen. Om te bepalen welke variabelen het belangrijkste zijn in de verklaring van diverse prestatie-indicatoren zijn 2 verschillende technieken gebruikt. Ten eerste is gebruik gemaakt van de Gradient Boosting Machine (gbm), een methode die gebaseerd is op beslisbomen. Hiervoor is gebruik gemaakt van een functie uit het h2o pakket (GBM; h2o.gbm function (h2o version 3.38.0.1)). Beslisbomen (decision tree induction) zijn een van de meest bestudeerde en gebruikte technieken binnen machine learning (Witten and Frank, 2005; Mollenhorst et al., 2020). Boosting is een repetitieve techniek om een aantal zwakke punten van enkelvoudige beslisbomen op te vangen. Daarnaast is ook nog kruisvalidatie toegepast (2 x 5 folds cross validation) om ervoor te zorgen dat data waarop het model gebouwd wordt niet ook in de beoordeling van de modellen wordt meegenomen. (Grafische resultaten worden telkens van 1 iteratie getoond, omdat de andere iteratie altijd vergelijkbare resultaten opleverde.) Een belangrijk voordeel van gbm is dat deze goed met missende waarden om kan gaan en geen last heeft van interacties tussen variabelen of afwijkende verdelingen. Daarnaast wordt de belangrijkheid van voorspellende variabelen in het model eenvoudig weergegeven en is deze niet afhankelijk van de volgorde van aanbieden van de variabelen (In bijlage 2 is een overzicht van gebruikte namen van variabelen en hun uitleg gegeven). Nadeel is echter dat de specifieke bijdrage van de verschillende variabelen aan het model, en daarmee de uitlegbaarheid, niet eenvoudig is weer te geven. Daarom is aanvullend op deze analyse ook gebruik gemaakt van step-wise lineaire regressie (middels de pakketten caret (version 6.0-93) en leaps (version 3.1)) op verschillende sets van variabelen, in het bijzonder op de variabelen met weinig missende waarden. Op basis van vergelijking van de belangrijkste verklarende variabelen in de gbm en step wise lineaire regressie zijn variabelen geselecteerd in specifieke lineaire regressiemodellen met en zonder interacties. Uiteindelijk is gezocht naar een balans tussen de prestaties van het model, het aantal verklarende variabelen en uitlegbaarheid, waardoor o.a. interacties niet zijn opgenomen in de uiteindelijk gerapporteerde modellen. De variabelen in deze modellen staan in volgorde van belang voor de verklaring van de betreffende prestatie-indicator.

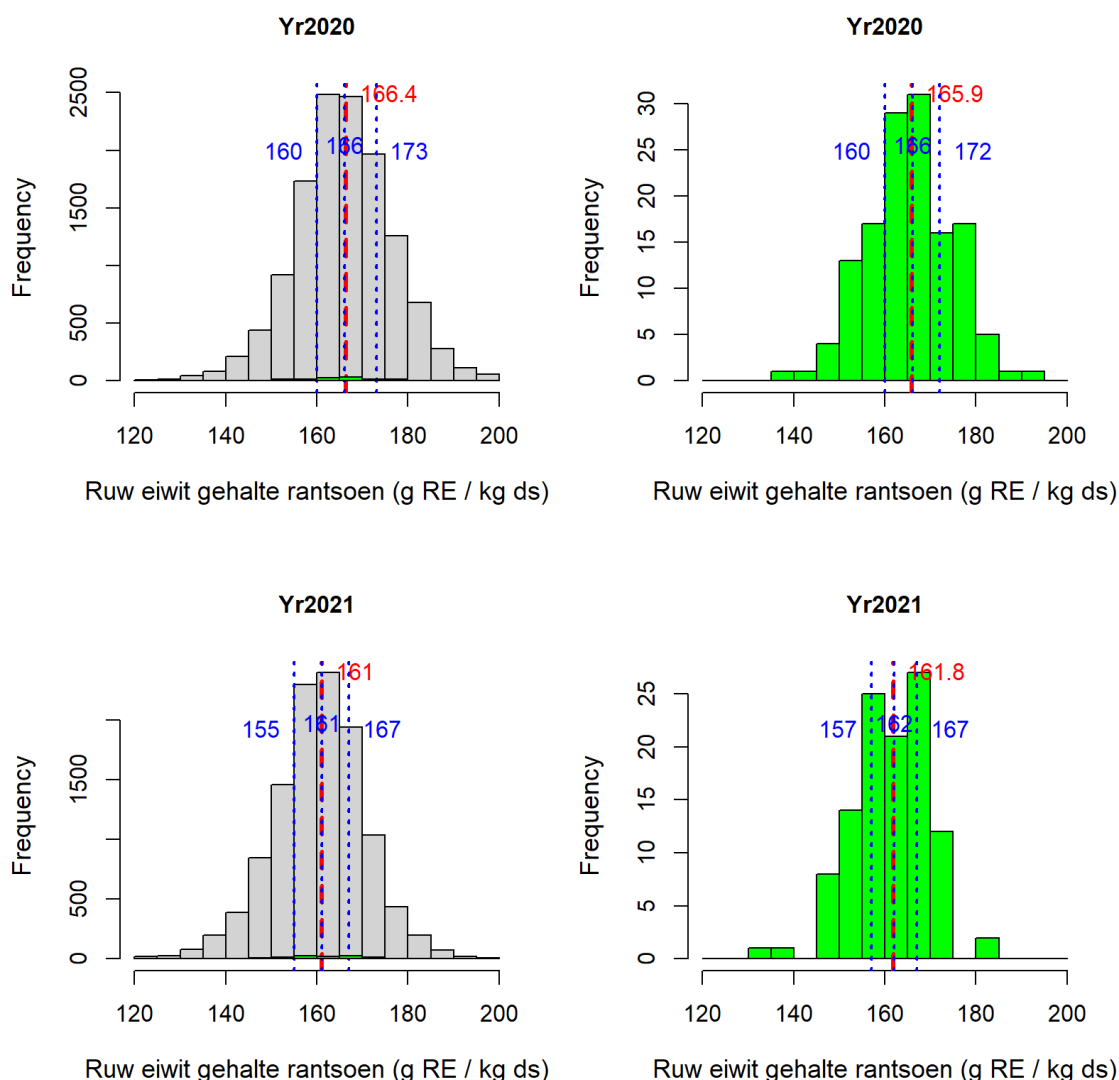
3 Resultaten

De resultaten worden per onderwerp beschreven, waarbij de nummers van de vooraf opgestelde vragen, zoals vermeld in paragraaf 1.3, tussen haakjes achter de kop van de paragraaf vermeld staan.

3.1 Ruw eiwitgehalte in het rantsoen

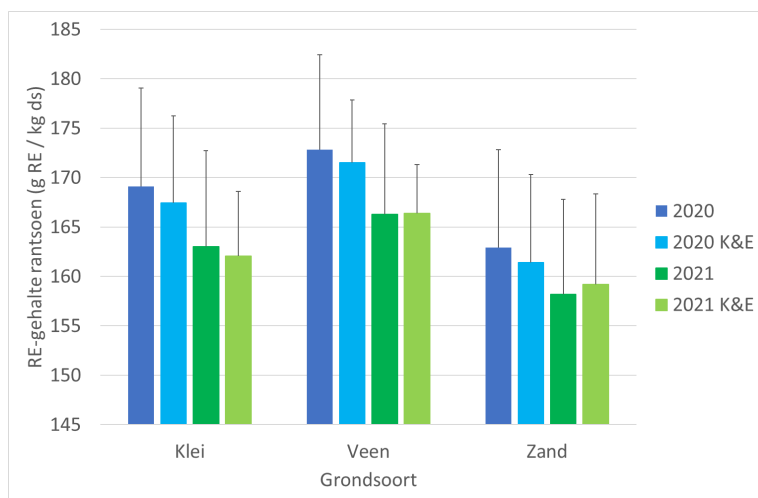
3.1.1 Beschrijvende statistiek en representativiteit K&E-deelnemers (vraag 1 - 5)

Het gemiddelde RE-gehalte lag voor alle bedrijven in 2020 op 166.4 (± 10.6) g RE / kg ds en in 2021 op 161.0 (± 10.0). Voor de K&E-deelnemers lag dit op resp. 165.9 (± 9.2) resp. 161.8 (± 7.9) g RE / kg ds. Figuur 1 laat verder zien dat de K&E-deelnemers een goede representatie van de gehele populatie bedrijven vormden.

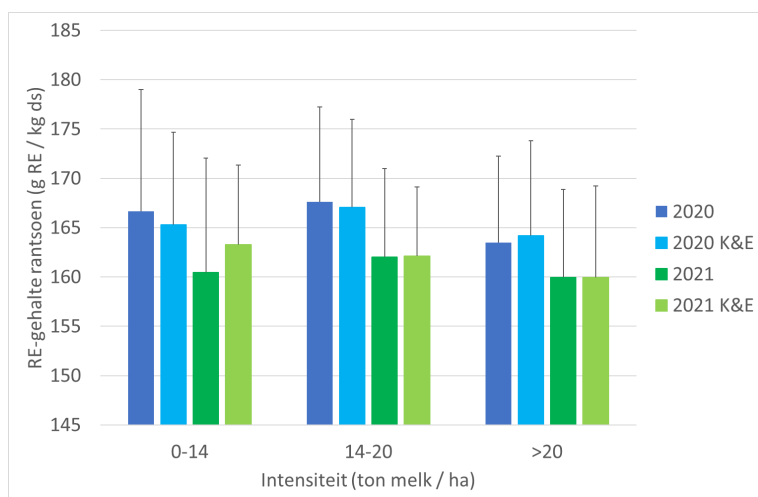


Figuur 1 Histogrammen van RE-gehalte in rantsoen voor, alle bedrijven 2020 (linksboven), K&E-deelnemers 2020 (rechtsboven), alle bedrijven 2021 (linksonder) en K&E-deelnemers 2021 (rechtsonder). Ook in de histogrammen van alle bedrijven zijn de K&E-deelnemers in groen weergegeven. Rode stippellijn geeft het gemiddelde weer, blauwe stippellijnen het eerste kwartiel, mediaan en derde kwartiel.

Beschouwd per meest voorkomende grondsoort op een bedrijf (Figuur 2) en intensiteitsklasse (Figuur 3) zien we ook hier dat de K&E-deelnemers een goede weerspiegeling vormen van de totale groep. Bedrijven op veen voeren een wat hoger en bedrijven op zand een wat lager RE-gehalte in het rantsoen in vergelijking tot de bedrijven op klei, terwijl verschillen tussen intensiteitsgroepen aanzienlijk kleiner zijn.



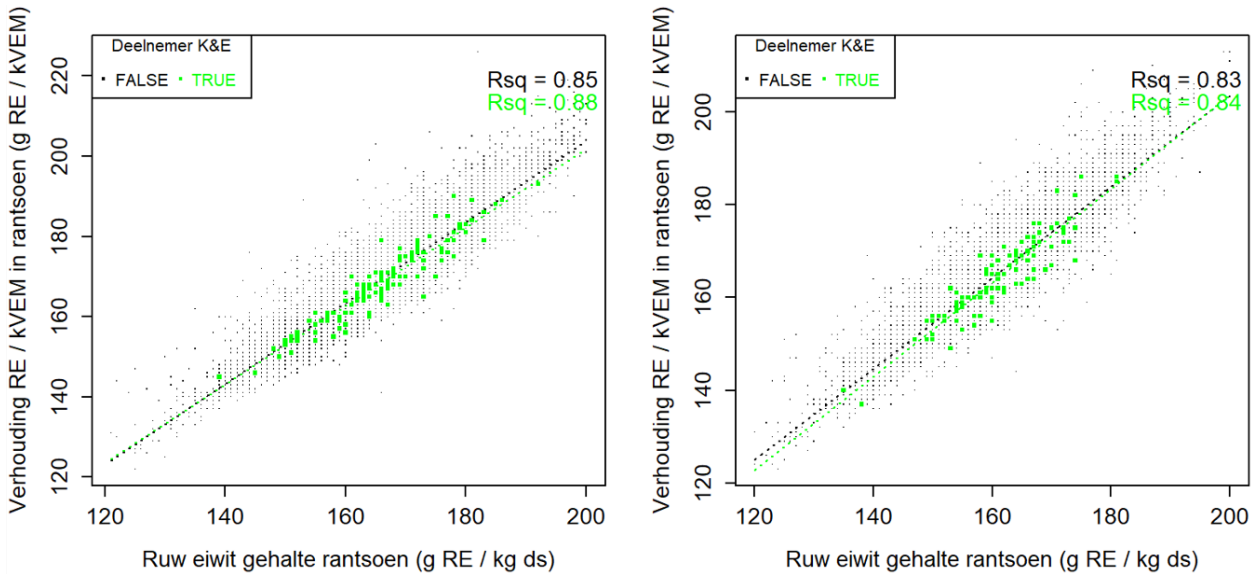
Figuur 2 Gemiddelde en standaarddeviatie van RE-gehalte in rantsoen per meest op een bedrijf voorkomende grondsoort voor alle bedrijven (donker) en K&E-deelnemers (licht) in 2020 (blauw) en 2021 (groen).



Figuur 3 Gemiddelde en standaarddeviatie van RE-gehalte in rantsoen per intensiteitsklasse voor alle bedrijven (donker) en K&E-deelnemers (licht) in 2020 (blauw) en 2021 (groen).

3.1.2 Relatie RE-gehalte in rantsoen en RE/kVEM (vraag 7)

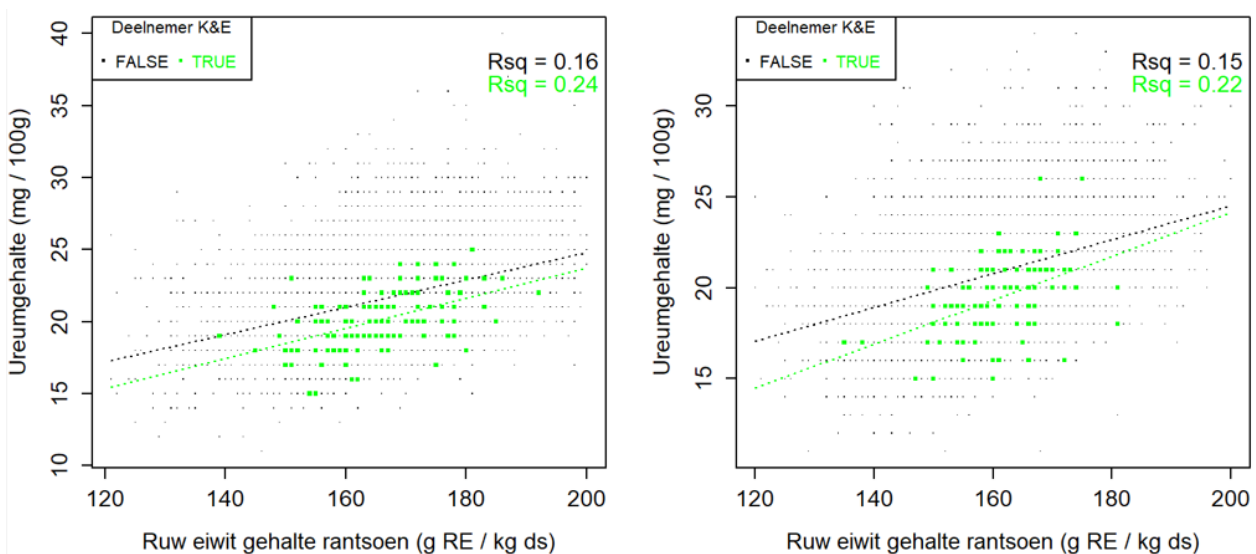
De indicatoren RE-gehalte in het rantsoen, uitgedrukt in g per kg ds, en de verhouding tussen RE- en energiegehalte in het rantsoen, uitgedrukt in g RE per kVEM, hebben een hoge correlatie ($R^2 > 0.8$; Figuur 4), waardoor beide mogelijk uitwisselbaar zijn in de verklaring van andere indicatoren.



Figuur 4 Relatie RE-gehalte in het rantsoen en de verhouding tussen RE- en energiegehalte in het rantsoen. (Linker grafiek 2020, rechter grafiek 2021, waarbij de K&E-deelnemers (groen) over alle bedrijven heen zijn geplot. $Rsq = R^2$ en geeft percentage verklaarde variantie van het lineaire model weer).

3.1.3 Relatie RE-gehalte in rantsoen en ureum (vraag 15)

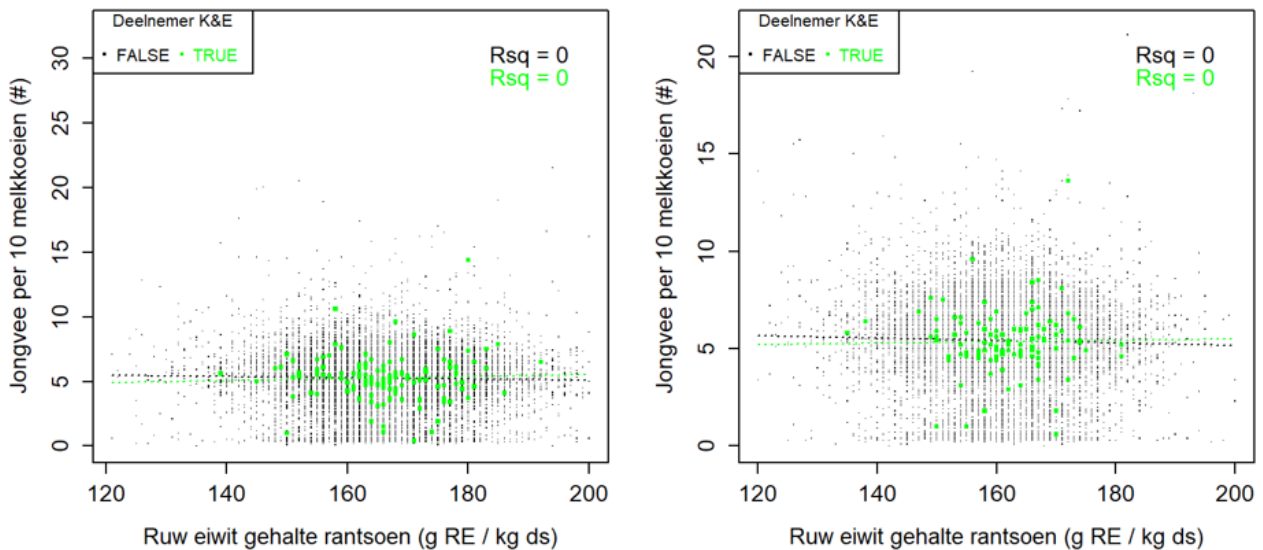
Het ureumgehalte in de melk wordt vaak in verband gebracht met het eiwitgehalte in het rantsoen. Als echter naar de één-op-één relatie tussen deze twee indicatoren kijken, dan blijkt die lineaire relatie niet zo sterk te zijn ($R^2 < 0.2$ voor alle bedrijven, $R^2 < 0.25$ voor de K&E-deelnemers; Figuur 5). Daarnaast liggen de K&E bedrijven bij hetzelfde RE in totaal rantsoen ongeveer 2 mg/100 g melkureum lager.



Figuur 5 Relatie RE-gehalte in het rantsoen en ureumgehalte in de melk. (Linker grafiek 2020, rechter grafiek 2021, waarbij de K&E-deelnemers (groen) over alle bedrijven heen zijn geplot. $Rsq = R^2$ en geeft percentage verklaarde variantie van het lineaire model weer).

3.1.4 Relatie RE-gehalte in rantsoen en jongveebezetting (vraag 23)

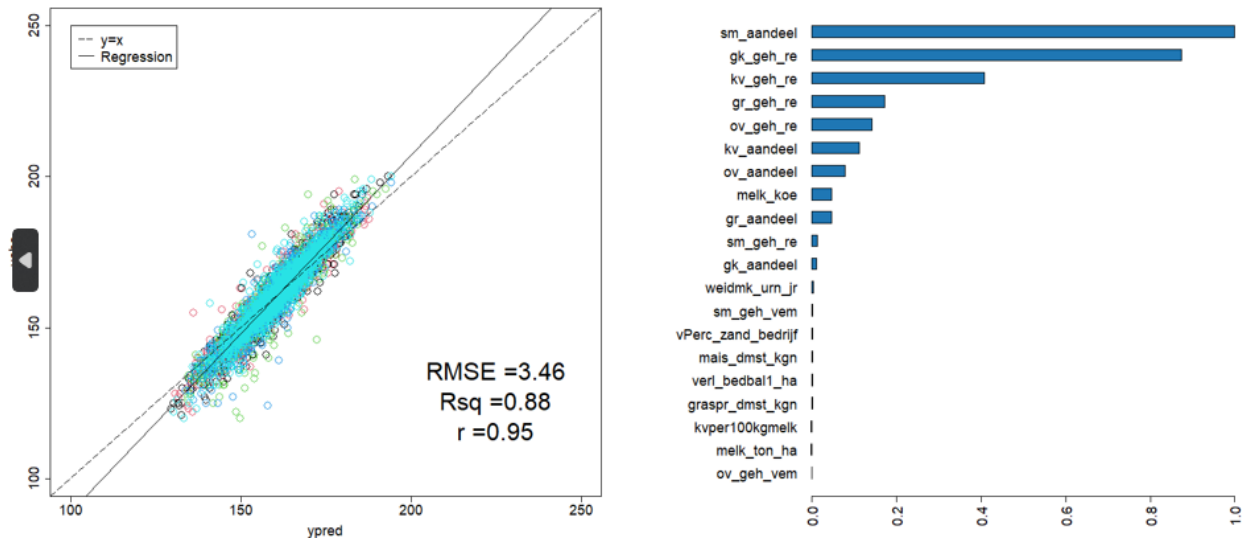
Als we naar de één-op-één relatie tussen deze twee indicatoren kijken, dan blijkt die lineaire relatie er over bedrijven heen niet te zijn ($R^2 = 0$; Figuur 6). Hieruit kan dan ook geconcludeerd worden dat boeren met weinig jongvee er niet beter, of minder goed, in slagen om een laag RE-gehalte in het rantsoen te voeren.



Figuur 6 Relatie RE-gehalte in het rantsoen en jongvee bezetting (stuks jongvee per 10 melkkoeien). (Linker grafiek 2020, rechter grafiek 2021, waarbij de K&E-deelnemers (groen) over alle bedrijven heen zijn geplott. $Rsqr = R^2$ en geeft percentage verklaarde variantie van het lineaire model weer).

3.1.5 Verklarende variabelen RE-gehalte in rantsoen (vraag 18, 19, 20)

Bij de verklaring van het RE-gehalte in het rantsoen van een melkveebedrijf spelen het snijmaisaandeel in het rantsoen en het RE-gehalte van de graskuil een zeer belangrijke rol, zowel wanneer de analyse met gbm wordt uitgevoerd (Figuur 7) als in een step-wise lineaire regressie. Op basis van beide methodes zijn daarnaast de RE-gehalten en aandelen van verschillende voergroepen (krachtvoer, overig ruwvoer en bijproducten, vers gras) van belang.



Figuur 7 Met KringloopWijzer bepaalde (yobs) versus voorspelde (ypred) waarden voor RE-gehalte rantsoen (g / kg ds) op basis van een iteratie van de 2x5 times CV gbm modellen en relatieve belangrijkheid van variabelen tijdens de betreffende iteratie op basis van data van 2021.

Omdat de voergroep 'overig ruwvoer en bijproducten' op lang niet elk bedrijf voorkomt is een model gekozen waarbij het RE-gehalte van deze voergroep buiten beschouwing is gelaten. Op basis van 5 verklarende variabelen kan een model gemaakt worden met een R^2 van 0.76. Het lineaire model ziet er als volgt uit (waarbij de standaardfout van de schatter van de coëfficiënten tussen haakjes is weergegeven):

RE-gehalte rantsoen (g / kg ds) =

59.7 (0.69)

- + 0.36 (0.004) * RE-gehalte graskuil (g RE / kg DS)
- 0.85 (0.006) * aandeel snijmais in rantsoen (%)
- + 0.18 (0.002) * RE-gehalte krachtvoer (g RE / kg DS)
- 0.37 (0.009) * aandeel overig ruwvoer en bijproducten in rantsoen (%)
- + 0.11 (0.003) * RE-gehalte vers gras (g RE / kg DS)

Ook is vervolgens geprobeerd het RE-gehalte van de graskuil te voorspellen op basis van de beschikbare variabelen. Dit leverde zelfs met de gbm methode slechts een model op met een R^2 van 0.31, waarschijnlijk omdat er niet voldoende variabelen beschikbaar waren die het graslandmanagement beschrijven. Om deze reden wordt hier verder geen aandacht aan besteed in dit rapport.

3.1.6 Kenmerken van 10 % bedrijven met laagste en hoogste RE-gehalte rantsoen (vraag 17)

Om te zien in hoeverre de bedrijven met de laagste en hoogste RE-gehalten in het rantsoen afwijken van de overige bedrijven zijn de 10 % bedrijven met het laagste en hoogste RE-gehalte vergeleken met de 80% bedrijven die daar tussenin zitten qua RE-gehalte in het rantsoen. Uit deze vergelijking (Tabel 1) blijkt dat de 10 % bedrijven met laagste RE een 12 % lagere en de 10 % bedrijven met hoogste RE een 11 % hoger RE-gehalte in het rantsoen hebben. Belangrijkste kenmerken die een verklaring hiervoor kunnen geven zijn het RE-gehalte van de graskuil, en het daarvan afgeleide RE-gehalte van vers gras, en het aandeel snijmais in het rantsoen. Deze laatste is waarschijnlijk sterk gerelateerd aan de grondsoort, vooral aandeel zandgrond (niet getoond), waarvan de procentuele verschillen eveneens groot zijn tussen de 3 groepen. Als we kijken naar kenmerken die gezien kunnen worden als resultaatsindicatoren, dan zien we dat bedrijven met een laag RE-gehalte in het rantsoen relatief goed scoren op NH₃-emissie gerelateerde indicatoren, ureumgehalte in de melk en N-excretie per ton melk, en daarbij ook een lagere broeikasgasemissie hebben uit de eigen voerproductie.

Tabel 1 Kenmerken van de 10 % bedrijven met laagste en hoogste (laag en hoog, elk n = 1143) RE-gehalte in het rantsoen vergeleken met de 80 % bedrijven die daar tussenin zitten (referentie groep (ref.), n = 9145) voor het jaar 2021. Selectie¹ gemaakt op basis van correlatie ($R^2 \geq 0.10$) van kenmerken in gehele dataset. (Gem. = gemiddelde, Vers. = procentuele verschil t.o.v. referentiegroep).

Kenmerk	Eenheid	Gem.laag	Gem.ref.	Gem.hoog	R ²	Vers.laag	Vers.hoog
RE-gehalte rantsoen	(g / kg ds)	142.4	161.2	178.4	--	-12%	11%
RE-gehalte graskuil	(g / kg ds)	153.4	169.3	181.6	0.26	-9%	7%
Aandeel snijmais in rantsoen	(%)	27.5	18.4	8.3	0.21	49%	-55%
RE-gehalte vers gras	(g / kg ds)	176.8	188.5	203.2	0.18	-6%	8%
NH ₃ -emissie graasdieren per gve	(kg NH ₃ / GVE)	19.2	24.4	28.8	0.32	-21%	18%
NH ₃ -emissie stal en mestopslag per gve	(kg NH ₃ / GVE)	8.5	11.2	12.9	0.28	-25%	14%
NH ₃ -emissie graasdieren per ha	(kg NH ₃ / ha)	43.3	54	59.6	0.11	-20%	10%
NH ₃ -emissie bemesting en oogst per ha	(kg NH ₃ / ha)	23.1	28.3	32.4	0.15	-18%	14%
Ureumgehalte	(mg / 100g)	19.3	20.8	22.8	0.15	-7%	10%
N-excretie per ton melk	(kg N / ton melk)	15.6	16.4	19.1	0.13	-5%	16%
BKG ² -voerprod. per ha	(kg CO ₂ -eq / ha)	1593	2225	3032	0.1	-28%	36%

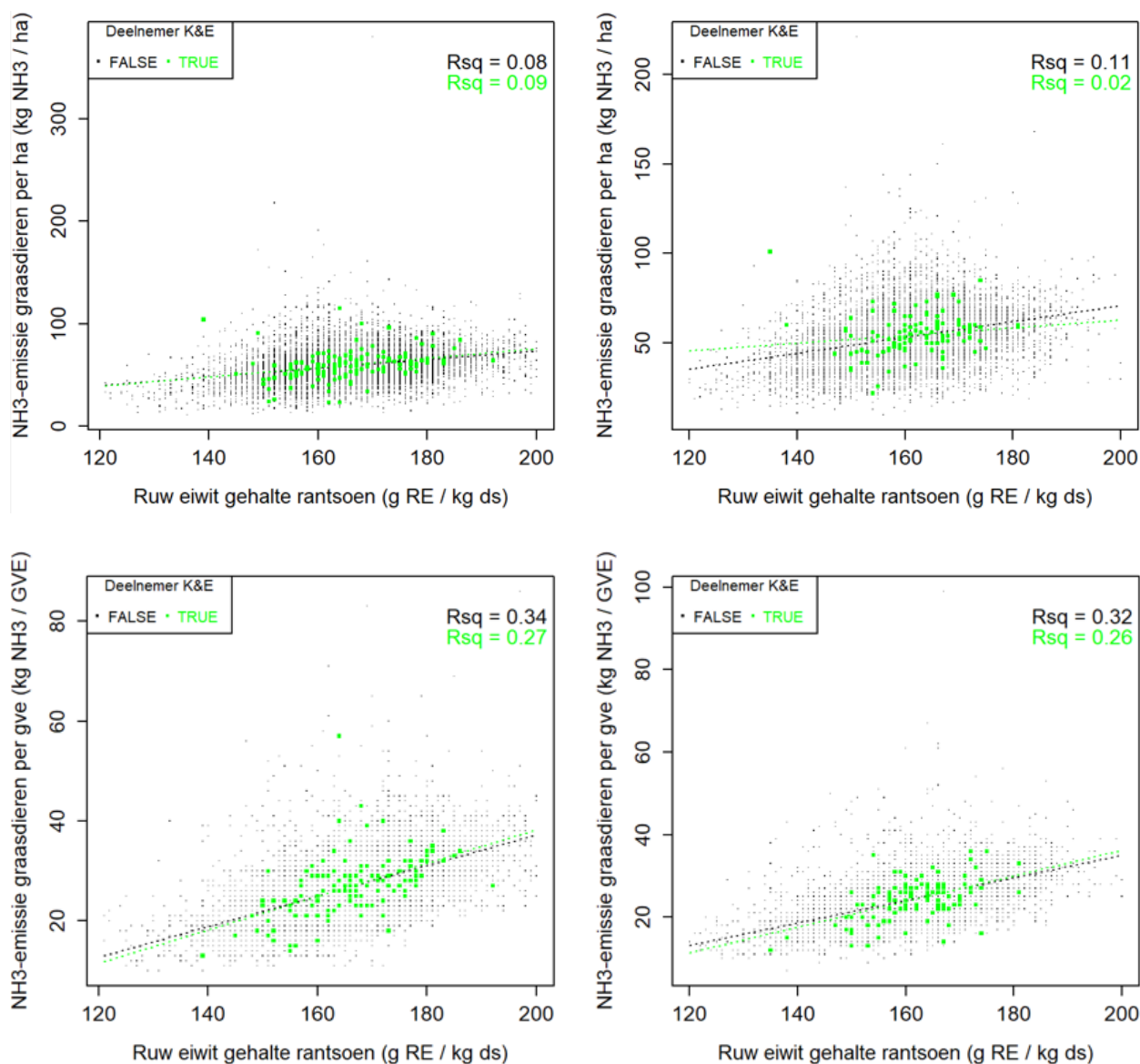
¹ Variabelen die wel getoetst zijn maar niet opgenomen in de tabel ($R^2 < 0.10$) zijn: aandeel kleigrond, aandeel veengrond, aandeel zandgrond, aandeel maisland, bemesting productiegasland met organische mest (ton product / ha of kg N / ha), aantal melkkoeien, melkproductie per koe (geleverd), intensiteit, jongveebezetting, grasopbrengst, maisopbrengst, krachtvoer per 100 kg melk (incl. / excl. bijproducten), RE-gehalte snijmais, RE-gehalte krachtvoer, RE-gehalte overig ruwvoer, RE-gehalte vochtrijke (bij)producten, weidegang melkkoeien, BKG totaal per kg melk, BKG aanvoer per kg melk, BKG aanvoer per ha, BKG energie per kg melk, BKG energie per ha, BKG pens per kg melk, BKG pens per ha, BKG stal en mestopslag per kg melk, BKG stal en mestopslag per ha, BKG voerproductie per kg melk, CH₄-emissie on-farm per GVE, CH₄-emissie on-farm per kg melk, N₂O-emissie on-farm per kg melk, NH₃-emissie graasdieren per ton melk, N-bodemoverschot, N-bedrijfsoverschot, N-benutting bedrijf, P-bedrijfsoverschot, P-excretie per ton melk, eiwit van eigen land (rantsoen).

² BKG = broeikasgasemissies

3.2 Ammoniakemissie

3.2.1 Relatie NH₃-emissie en RE-gehalte rantsoen (vraag 6, 9)

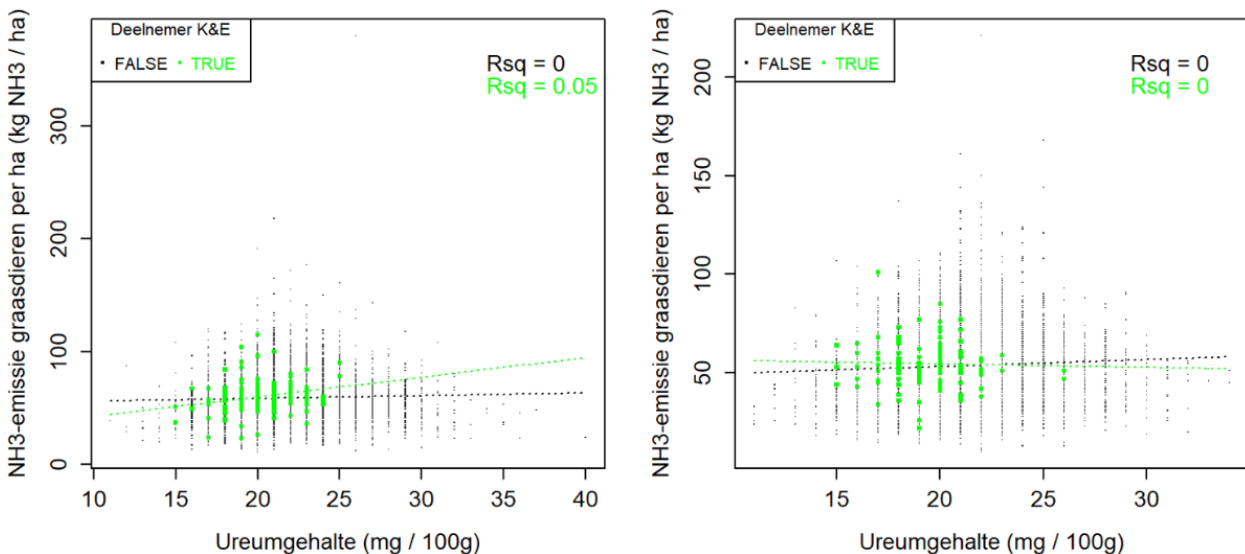
De één-op-één lineaire relatie van RE-gehalte in het rantsoen en NH₃-emissie per ha is zeer gering ($R^2 = 0.1$; Figuur 8 boven). Als de NH₃-emissie in plaats van per ha wordt uitgedrukt per GVE is de lineaire relatie iets sterker ($R^2 = 0.3$; Figuur 8 onder), maar nog steeds gering. Als in plaats van naar RE-gehalte per kg ds naar de RE/kVEM-verhouding wordt gekeken in relatie tot de NH₃-emissie per ha, dan is de lineaire correlatie nog zwakker ($R^2 < 0.1$; niet getoond).



Figuur 8 Relatie RE-gehalte in het rantsoen en NH₃-emissie per ha (boven) en per GVE (onder). (Linker grafiek 2020, rechter grafiek 2021, waarbij de K&E-deelnemers (groen) over alle bedrijven heen zijn geplot. $Rsq = R^2$ en geeft percentage verklaarde variantie van het lineaire model weer.)

3.2.2 Relatie NH₃-emissie en ureum (vraag 16)

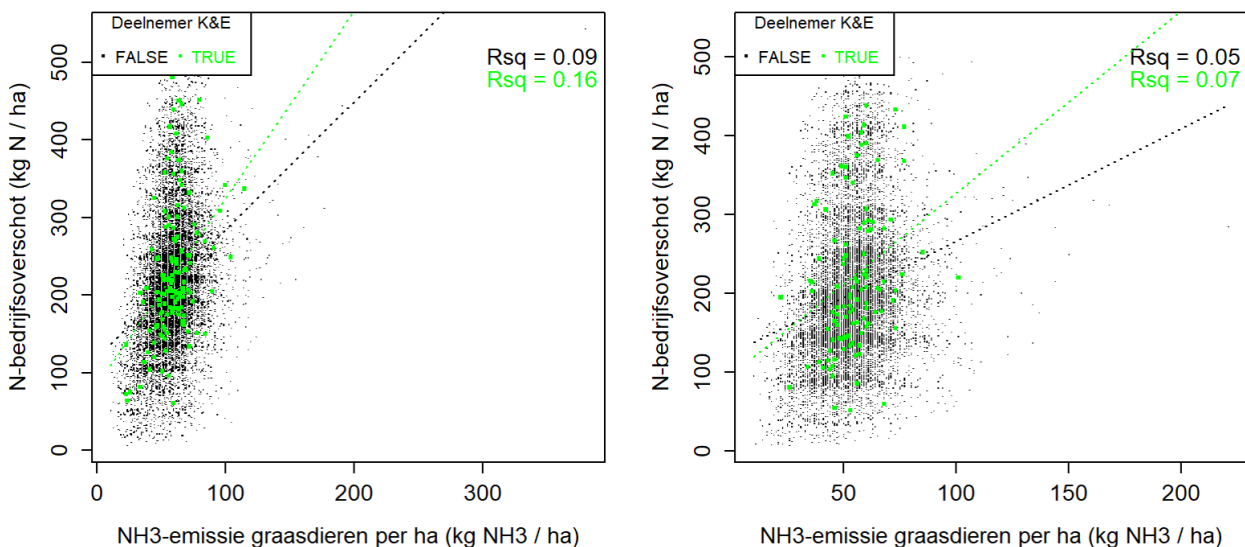
Het ureumgehalte in de melk wordt soms ook gezien als mogelijke indicator voor NH₃-emissie. Als echter naar de één-op-één relatie tussen deze twee indicatoren in de beschikbare dataset kijken, dan blijkt die lineaire relatie er niet te zijn ($R^2 < 0.05$; Figuur 9). Ook als NH₃-emissie uitgedrukt wordt per GVE of per kg melk blijft de R^2 onder de 0.1 (niet getoond).



Figuur 9 Relatie ureumgehalte in de melk en NH₃-emissie per ha. (Linker grafiek 2020, rechter grafiek 2021, waarbij de K&E-deelnemers (groen) over alle bedrijven heen zijn geplot. $Rsq = R^2$ en geeft percentage verklaarde variantie van het lineaire model weer.)

3.2.3 Relatie NH₃-emissie en N-bedrijfsoverschot (vraag 10)

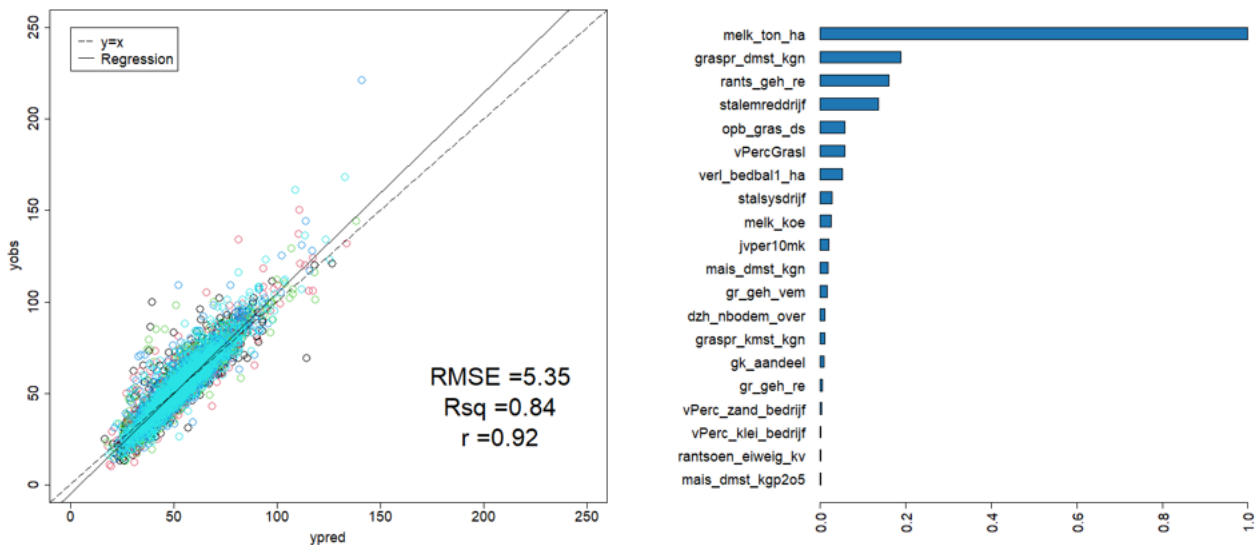
De één-op-één lineaire relatie van NH₃-emissie per ha en N-overschot per ha op bedrijfsniveau is zeer gering ($R^2 = 0.1$; Figuur 10).



Figuur 10 Relatie NH₃-emissie per ha en N-overschot per ha op bedrijfsniveau. (Linker grafiek 2020, rechter grafiek 2021, waarbij de K&E-deelnemers (groen) over alle bedrijven heen zijn geplot. $Rsq = R^2$ en geeft percentage verklaarde variantie van het lineaire model weer.)

3.2.4 Verklarende variabelen NH₃-emissie (vraag 13, 14)

Bij de verklaring van de totale NH₃-emissie van een melkveebedrijf, uitgedrukt per ha, speelt intensiteit (hoeveelheid geproduceerde melk per ha) een zeer belangrijke rol, zowel als de analyse met gbm wordt uitgevoerd (Figuur 11) als in een step-wise lineaire regressie. Op basis van de gbm zijn daarnaast vooral de het bemestingsniveau van productiegrasland met drijfmest (kg N per ha), het RE-gehalte van het rantsoen en de NH₃-emissiereductiefactor van de stal van belang. In deze analyse is de RE/kVEM-verhouding buiten beschouwing gelaten omdat die een hoge correlatie met het RE-gehalte heeft (zie Figuur 4) en daardoor een vergelijkbare invloed had.



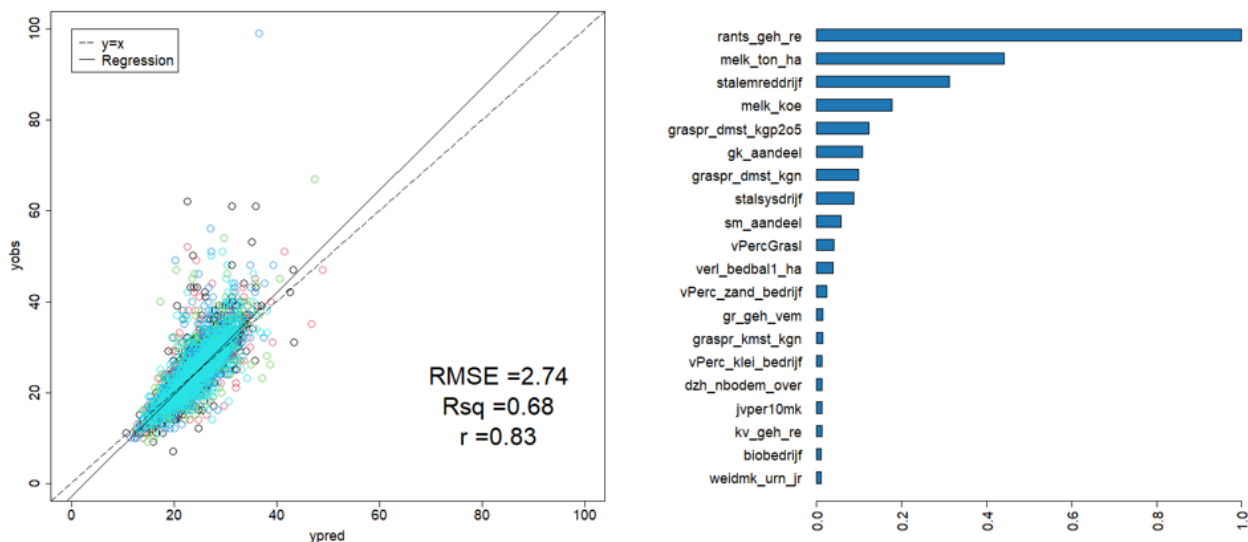
Figuur 11 Met KringloopWijzer bepaalde (yobs) versus voorspelde (ypred) waarden voor ammoniakemissie (kg NH₃ / ha) op basis van een iteratie van de 2x5 times CV gbm modellen en relatieve belangrijkheid van variabelen tijdens de betreffende iteratie op basis van data van 2021.

Analyses met step-wise lineaire regressie bevestigen het belang van de eerste 4 belangrijkste variabelen uit de gbm. Waar in de gbm eerst een aantal aan het grasland gerelateerde variabelen naar voren komen, komen in de step-wise lineaire regressie de melkproductie per koe en jongveebezetting naar boven. Deze 6 verklarende variabelen leveren een model op met een R² van 0.78, iets lager dan voor het gbm-model (R² = 0.84). Het lineaire model ziet er als volgt uit (waarbij de standaardfout van de schatter van de coëfficiënten tussen haakjes is weergegeven):

NH₃-emissie (kg NH₃ / ha) =

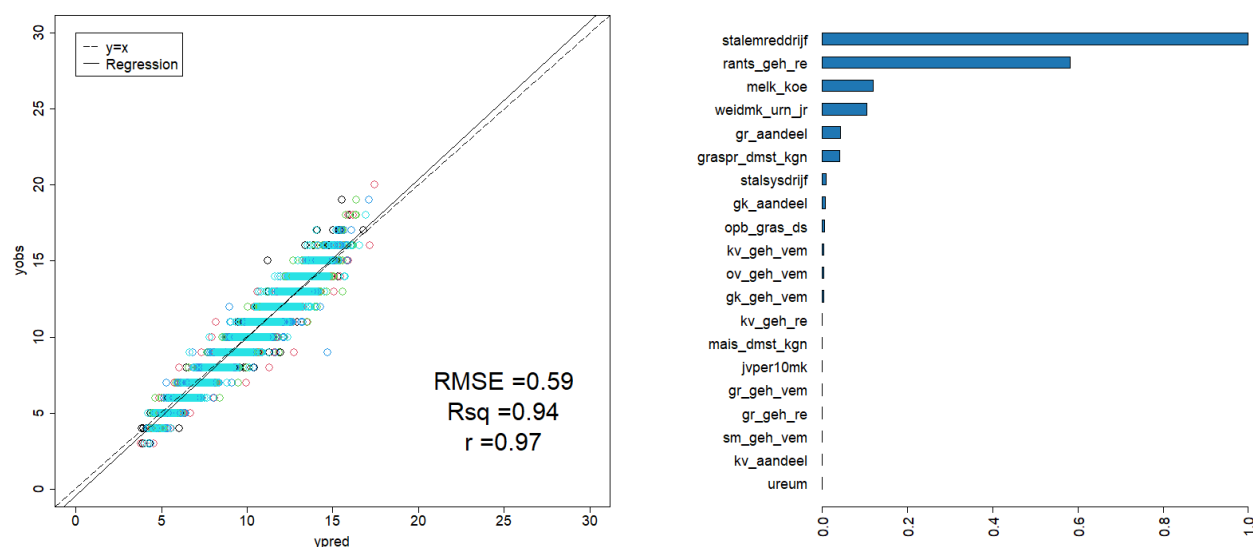
$$\begin{aligned}
 & - 46.1 (1.00) \\
 & + 1.70 (0.012) \quad * \text{intensiteit (ton melk / ha)} \\
 & + 0.48 (0.006) \quad * \text{RE-gehalte rantsoen (g RE / kg DS)} \\
 & - 0.21 (0.004) \quad * \text{emissiereductie melkveestatal (%) } \\
 & + 0.061 (0.0014) \quad * \text{N uit organische mest, productiegrasland (kg N / ha)} \\
 & - 2.6 (0.055) \quad * \text{melkproductie per koe (ton / jaar)} \\
 & + 0.95 (0.030) \quad * \text{jongveebezetting (stuks jongvee / 10 melkkoeien)}
 \end{aligned}$$

Als de totale NH₃-emissie van een melkveebedrijf niet wordt uitgedrukt per ha, maar gerelateerd wordt aan het aantal dieren op een bedrijf (uitgedrukt in GVE), speelt intensiteit (hoeveelheid geproduceerde melk per ha) een wat minder belangrijke rol en wordt het RE-gehalte belangrijker als de analyse met gbm wordt uitgevoerd (Figuur 12). De voorspelbaarheid van deze nieuwe indicator is echter wel wat lager (R² = 0.68).



Figuur 12 Met KringloopWijzer bepaalde (yobs) versus voorspelde (ypred) waarden voor ammoniakemissie (kg NH₃ / GVE) op basis van een iteratie van de 2x5 times CV gbm modellen en relatieve belangrijkheid van variabelen tijdens de betreffende iteratie op basis van data van 2021.

Als we de totale NH₃-emissie opdelen in emissies gerelateerd aan stal en opslag uitdrukken per GVE en de emissies gerelateerd aan gewasproductie (bemesting en oogst) uitdrukken per ha, dan levert dat vooral voor de stalemissies per GVE een zeer sterk afgeleid model op ($R^2 = 0.94$; Figuur 13). De emissies gerelateerd aan gewasproductie per ha laten zich echter wat minder makkelijk voorspellen ($R^2 = 0.61$; Figuur 14).

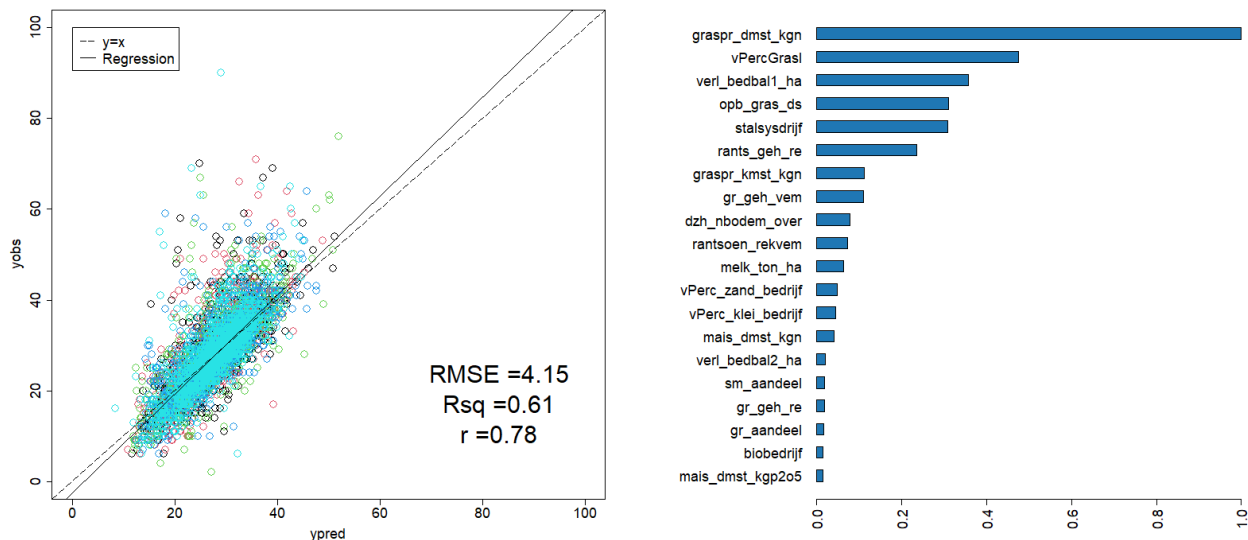


Figuur 13 Met KringloopWijzer bepaalde (yobs) versus voorspelde (ypred) waarden voor ammoniakemissie uit stal en mestopslag (kg NH₃ / GVE) op basis van een iteratie van de 2x5 times CV gbm modellen en relatieve belangrijkheid van variabelen tijdens de betreffende iteratie op basis van data van 2021.

Voor de voorspelling van NH₃-emissies uit stal en mestopslag (Figuur 13) zijn vooral het emissiereductiepercentage van de stal (op basis van RAV-codes), het RE-gehalte van het rantsoen, melkproductieniveau en weidegang van belang. Analyses met step-wise lineaire regressie bevestigen het belang van deze 4 variabelen. Deze 4 verklarende variabelen leveren een model op met een R^2 van 0.89, iets lager dan voor het gbm-model ($R^2 = 0.94$). Het lineaire model ziet er als volgt uit (waarbij de standaardfout van de schatter van de coëfficiënten tussen haakjes is weergegeven):

NH₃-emissie uit stal en mestopslag (kg NH₃ / GVE) =

- 9.7 (0.12)
- 0.10 (0.0005) * emissiereductie melkveeststal (%)
- + 0.12 (0.0008) * RE-gehalte rantsoen (g RE / kg DS)
- 0.67 (0.0092) * weidegang melkkoeien (1000 uren / jaar)
- + 0.32 (0.0063) * melkproductie per koe (ton / jaar)



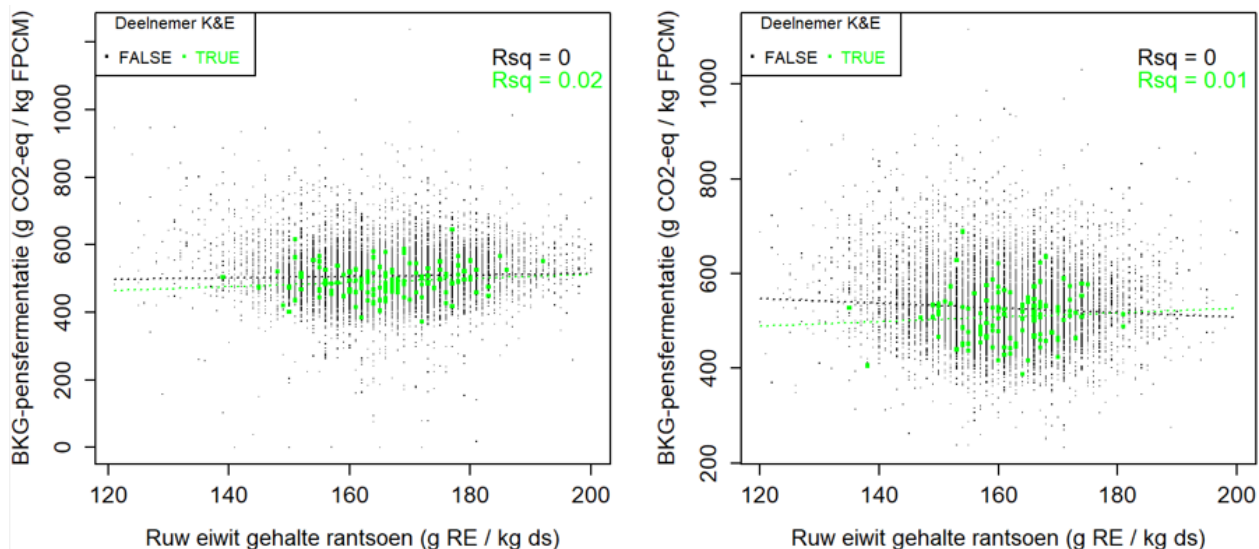
Figuur 14 Met KringloopWijzer bepaalde (yobs) versus voorspelde (ypred) waarden voor ammoniakemissie uit bemesting en oogst (kg NH₃ / ha) op basis van een iteratie van de 2x5 times CV gbm modellen en relatieve belangrijkheid van variabelen tijdens de betreffende iteratie op basis van data van 2021.

Voor de voorspelling van NH₃-emissies gerelateerd aan gewasproductie (Figuur 14) zijn vooral het bemestingsniveau (N uit drijfmest en in mindere mate ook N uit kunstmest) op productiegrasland, het percentage grasland, het N-bedrijfsoverschot, de opbrengst van het grasland, het percentage drijfmest (stalsysteem) en het RE-gehalte van het rantsoen van belang. Analyses met step-wise lineaire regressie bevestigen het belang van vijf van de hiervoor genoemde variabelen. Als bodem- en bedrijfsoverschotten buiten beschouwing gelaten worden dan gebruiken gbm- en step-wise lineaire regressie dezelfde variabelen. Aangezien de voorspellende waarde van de uiteindelijke modellen vrij laag is ($R^2 < 0.60$) is hier geen model weergegeven.

3.3 Broeikasgassen

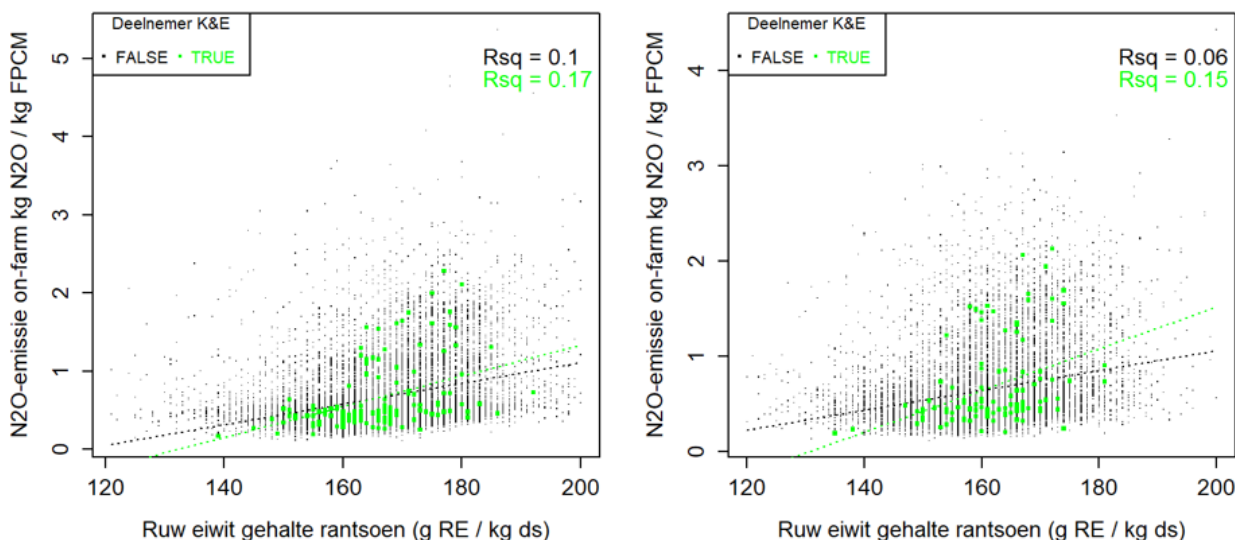
3.3.1 Relatie broeikasgasindicatoren en RE-gehalte rantsoen (vraag 8, 21)

De één-op-één relatie van RE-gehalte in het rantsoen en CH₄-emissie uit pensfermentatie, een onderdeel van de totale BKG-emissies, uitgedrukt in CO₂-equivalenten (eq.) per kg vet en eiwit gecorrigeerde melk (FPCM) is zeer gering ($R^2 < 0.05$; Figuur 15). Ditzelfde geldt ook voor de één-op-één lineaire relatie van RE-gehalte in het rantsoen en de totale CH₄-emissie op het bedrijf.



Figuur 15 Relatie RE-gehalte in het rantsoen en CH₄-emissie uit pensfermentatie in CO₂-equivalenten per kg vet en eiwit gecorrigeerde melk (FPCM). (Linker grafiek 2020, rechter grafiek 2021, waarbij de K&E-deelnemers (groen) over alle bedrijven heen zijn geplot. Rsq = R² en geeft percentage verklaarde variantie van het lineaire model weer.)

De één-op-één lineaire relatie van RE-gehalte in het rantsoen en de lachgas (N₂O) emissie op het bedrijf is iets sterker, maar ook nog gering (R² < 0.2; Figuur 16).

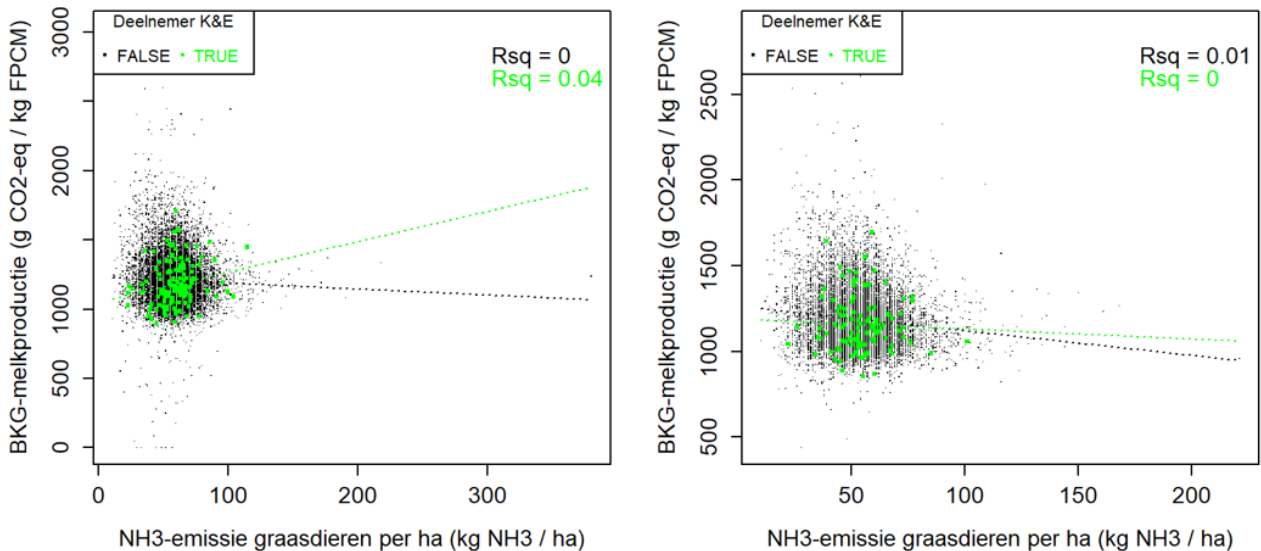


Figuur 16 Relatie RE-gehalte in het rantsoen en lachgasemissie op het bedrijf in kg N₂O per kg vet en eiwit gecorrigeerde melk (FPCM). (Linker grafiek 2020, rechter grafiek 2021, waarbij de K&E-deelnemers (groen) over alle bedrijven heen zijn geplot. Rsq = R² en geeft percentage verklaarde variantie van het lineaire model weer.)

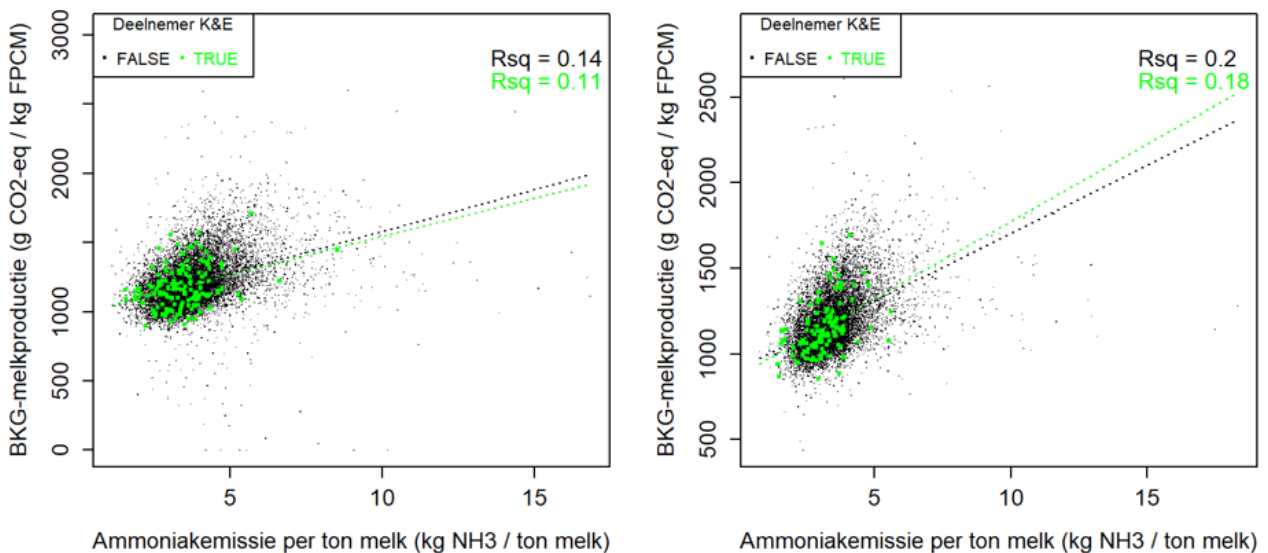
De één-op-één relatie van RE-gehalte in het rantsoen en totale BKG-emissies, uitgedrukt in CO₂-equivalenten (eq.) per kg FPCM, hetgeen een optelling is van bovengenoemde elementen en o.a. BKG-emissies gerelateerd aan aanvoerbronnen als voer, kunstmest en energie, is eveneens gering (R² < 0.1; niet getoond).

3.3.2 Relatie NH₃-emissie en broeikasgasemissies (vraag 11, 12)

De één-op-één lineaire relatie van NH₃-emissie per ha en BKG-emissies per kg FPCM is nagenoeg afwezig ($R^2 < 0.05$; Figuur 17). Indien ook de NH₃-emissie per kg melk wordt uitgedrukt neemt de lineaire relatie enigszins toe, maar blijft gering ($R^2 = 0.1 - 0.2$; Figuur 18). Wel geeft de positieve correlatie tussen bedrijven aan dat er mogelijk scenario's zijn waarbij positieve effecten op het gebied van reductie van zowel NH₃- als BKG-emissies per kg melk te behalen zijn. Voor specifiek de BKG-emissie als gevolg van CH₄ uit pensfermentatie ziet het beeld er nagenoeg hetzelfde uit (niet getoond) en lijkt dus vrij bepalend voor de relatie van de totale BKG-emissies met NH₃.



Figuur 17 Relatie NH₃-emissie per ha en totale BKG-emissies in CO₂-equivalenten per kg vet en eiwit gecorrigeerde melk (FPCM). (Linker grafiek 2020, rechter grafiek 2021, waarbij de K&E-deelnemers (groen) over alle bedrijven heen zijn geplote. $Rsq = R^2$ en geeft percentage verklaarde variantie van het lineaire model weer.)

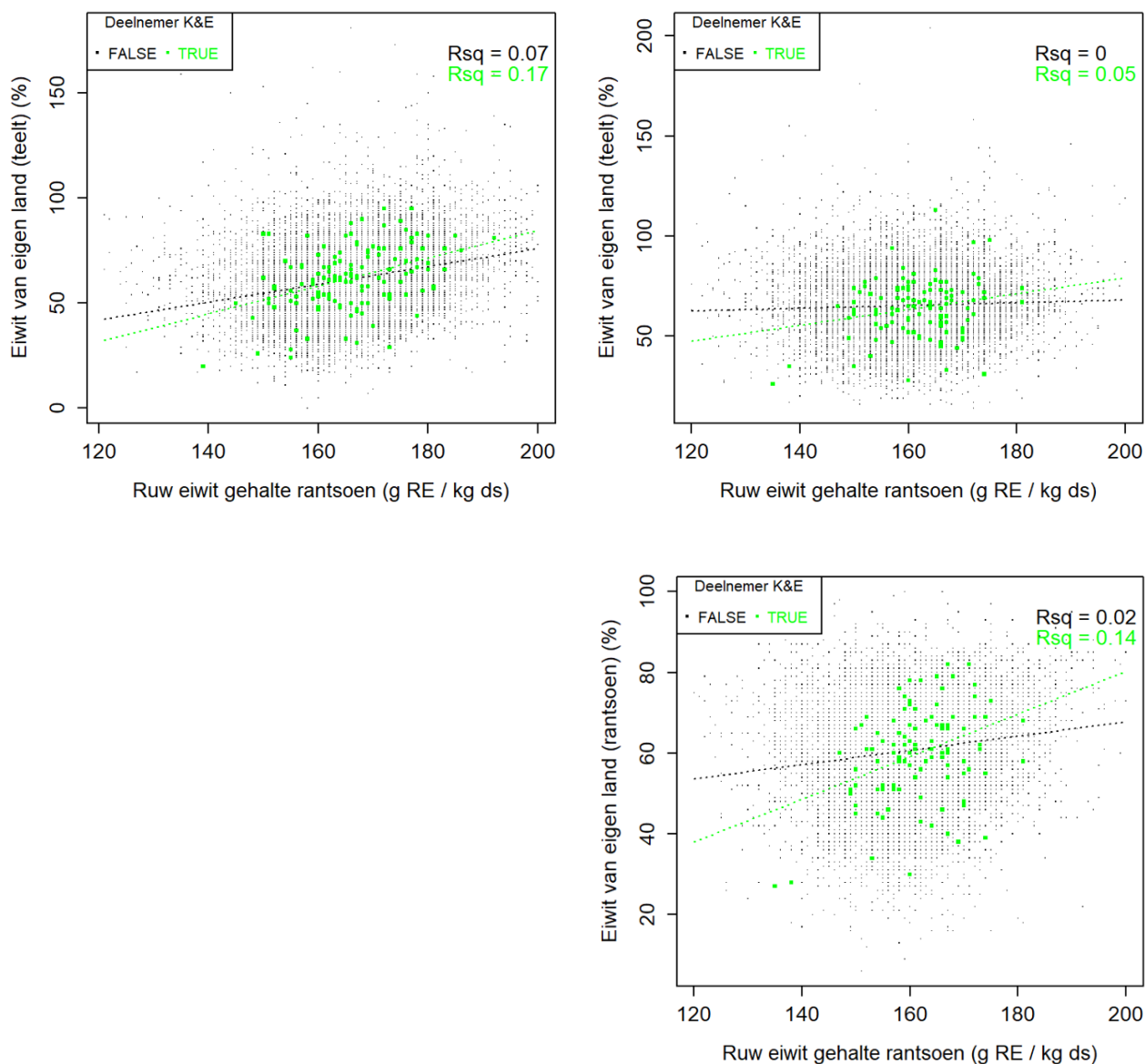


Figuur 18 Relatie NH₃-emissie per ton melk en totale BKG-emissies in CO₂-equivalenten per kg vet en eiwit gecorrigeerde melk (FPCM). (Linker grafiek 2020, rechter grafiek 2021, waarbij de K&E-deelnemers (groen) over alle bedrijven heen zijn geplote. $Rsq = R^2$ en geeft percentage verklaarde variantie van het lineaire model weer.)

3.4 Eiwit van eigen land

3.4.1 Relatie eiwit van eigen land en RE-gehalte rantsoen (vraag 22)

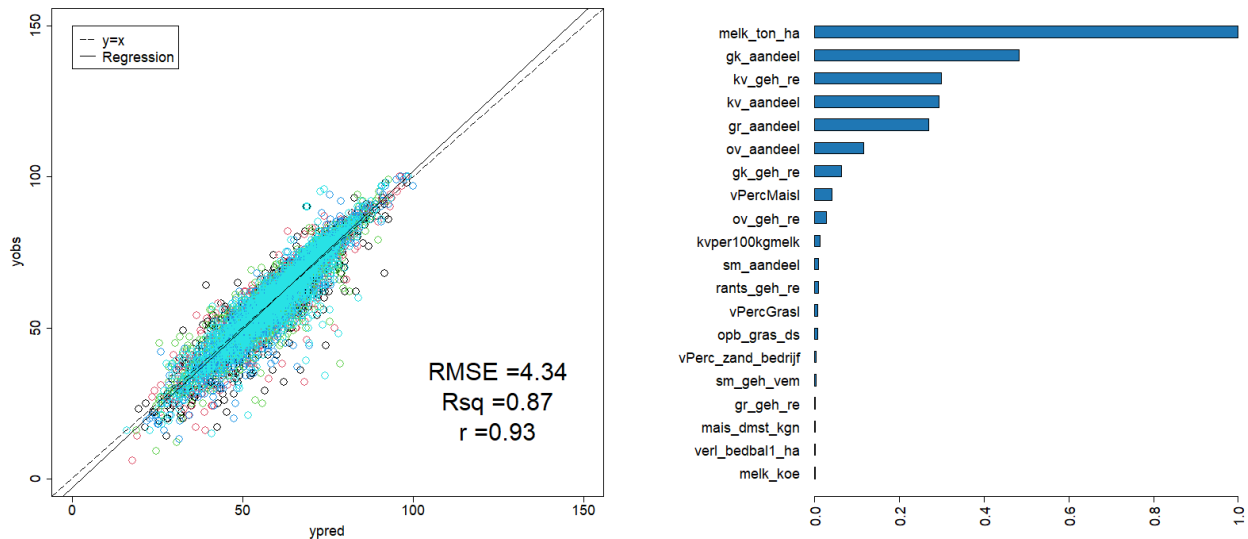
De één-op-één lineaire relatie van RE-gehalte in het rantsoen en percentage eiwit van eigen land is gering ($R^2 < 0.20$; Figuur 19). Dit geldt zowel voor het kenmerk volgens de oude definitie op basis van de hoeveelheid geteeld eiwit (gegevens 2020 en 2021) als de nieuwe definitie op basis van de hoeveelheid eiwit die werkelijk in het rantsoen zit (gegevens 2021).



Figuur 19 Relatie RE-gehalte in het rantsoen en percentage eiwit van eigen land op basis van oude definitie (teelt) boven en nieuwe definitie (rantsoen) onder. (Linker grafiek 2020, rechter grafiek 2021, waarbij de K&E-deelnemers (groen) over alle bedrijven heen zijn geplott. $Rsq = R^2$ en geeft percentage verklaarde variantie van het lineaire model weer.)

3.4.2 Verklarende variabelen eigen eiwit in rantsoen (vraag 24, 25)

Bij de verklaring van het percentage eiwit van eigen land in het rantsoen speelt intensiteit (hoeveelheid geproduceerde melk per ha) een zeer belangrijke rol, zowel als de analyse met gbm wordt uitgevoerd (Figuur 20) als in een step-wise lineaire regressie. Op basis van de gbm zijn daarnaast vooral de aandelen van de verschillende voergroepen en het RE-gehalte van het krachtvoer van belang. In de gbm analyse is de RE/kVEM-verhouding buiten beschouwing gelaten, omdat die een hoge correlatie met het RE-gehalte heeft (zie Figuur 4) en daardoor een vergelijkbare invloed had, terwijl het belang ook nog eens gering was.

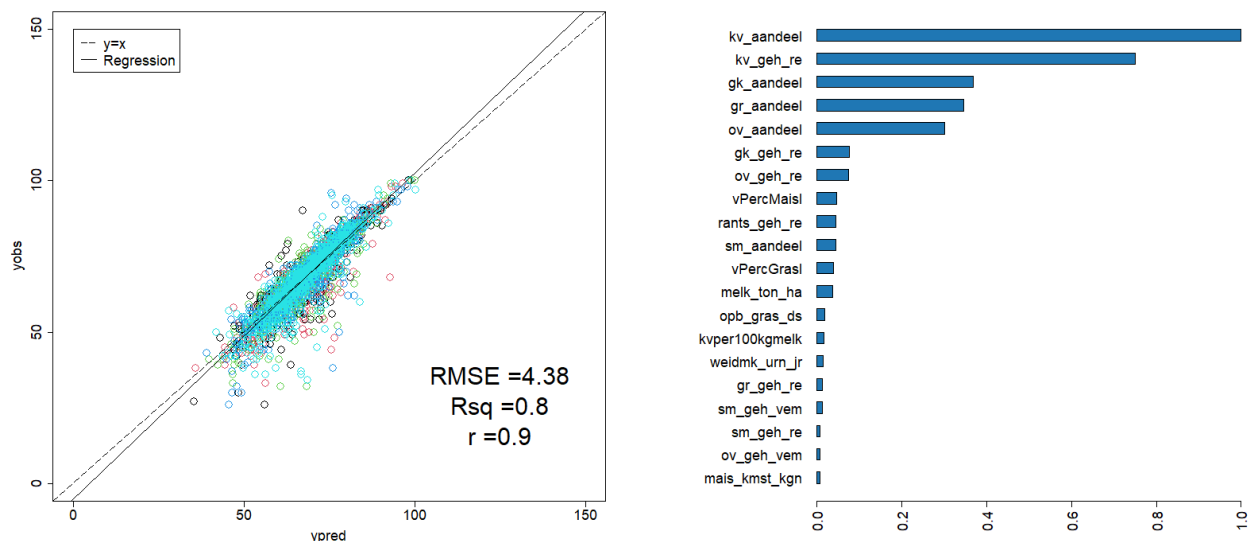


Figuur 20 Met KringloopWijzer bepaalde (yobs) versus voorspelde (ypred) waarden voor eigen eiwit in rantsoen (%) op basis van een iteratie van de 2x5 times CV gbm modellen en relatieve belangrijkheid van variabelen tijdens de betreffende iteratie op basis van data van 2021.

Analyses met step-wise lineaire regressie bevestigen het belang van intensiteit en aandelen vers gras en graskuil in het rantsoen, maar laten daarnaast het aandeel snijmais in het rantsoen, het RE-gehalte van de graskuil en de eiwit/energie-verhouding in het rantsoen naar boven komen.

Om beter inzicht te krijgen in het effect van intensiteit op de overige verklarende variabelen is ervoor gekozen om de analyses ook voor 3 intensiteitsklassen uit te voeren, namelijk ≤ 14 ton melk per ha, 14 tot 18 ton melk per ha en > 18 ton melk per ha.

Intensiteit ≤ 14 ton melk per ha



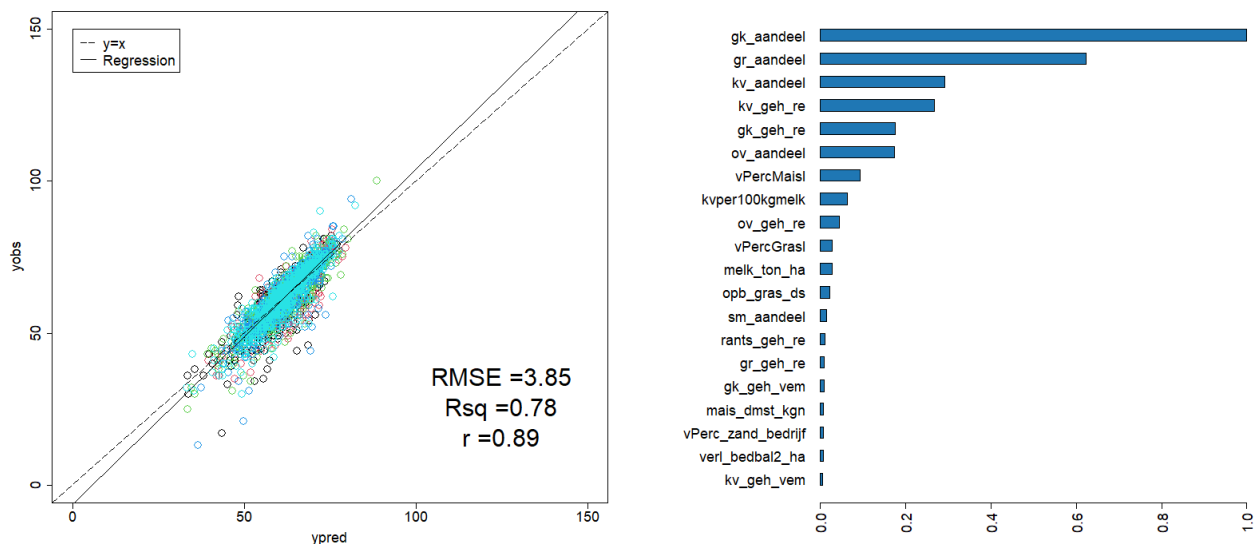
Figuur 21 Met KringloopWijzer bepaalde (yobs) versus voorspelde (ypred) waarden voor eigen eiwit in rantsoen (%) voor bedrijven met ≤ 14 ton melk per ha op basis van een iteratie van de 2x5 times CV gbm modellen en relatieve belangrijkheid van variabelen tijdens de betreffende iteratie op basis van data van 2021

Om de variatie in percentage eiwit van eigen land in het rantsoen tussen bedrijven in de klasse ≤ 14 ton melk per ha te verklaren is de intensiteit niet meer van belang. Zowel in de gbm (Figuur 21) als in de step-wise lineaire regressie kwamen aandeel krachtvoer in het rantsoen en het RE-gehalte van het krachtvoer als belangrijkste variabelen naar voren. In de step-wise lineaire regressie echter alleen in de modellen met één of twee variabelen. Bij selectie van meer variabelen werden de aandelen eigen ruwvoerders, vers gras, graskuil en snijmais in het model gekozen, gevolgd door RE-gehalten van graskuil en vers gras en de eiwit/energie-verhouding in het rantsoen. Omdat het RE-gehalte van vers gras moeilijk borgbaar is en gerelateerd is aan die van kuilgras, is gekeken of vervanging door RE-gehalte van het krachtvoer het model even sterk zou maken. Dit bleek het geval en daarom is in het uiteindelijke model met 6 variabelen hiervoor gekozen. Het lineaire model ($R^2 = 0.79$) ziet er als volgt uit (waarbij de standaardfout van de schatter van de coëfficiënten tussen haakjes is weergegeven):

Eiwit van eigen land in het rantsoen (%) =

- 1.45 (1.40)
- + 1.09 (0.012) * aandeel vers gras in rantsoen (%)
- + 1.02 (0.011) * aandeel graskuil in rantsoen (%)
- + 0.56 (0.014) * aandeel snijmais in rantsoen (%)
- + 0.19 (0.006) * RE-gehalte graskuil (g RE / kg DS)
- 0.14 (0.010) * verhouding RE / kVEM in het rantsoen (g RE / kVEM)
- 0.03 (0.003) * RE-gehalte krachtvoer (g RE / kg DS)

Intensiteit 14 - 18 ton melk per ha



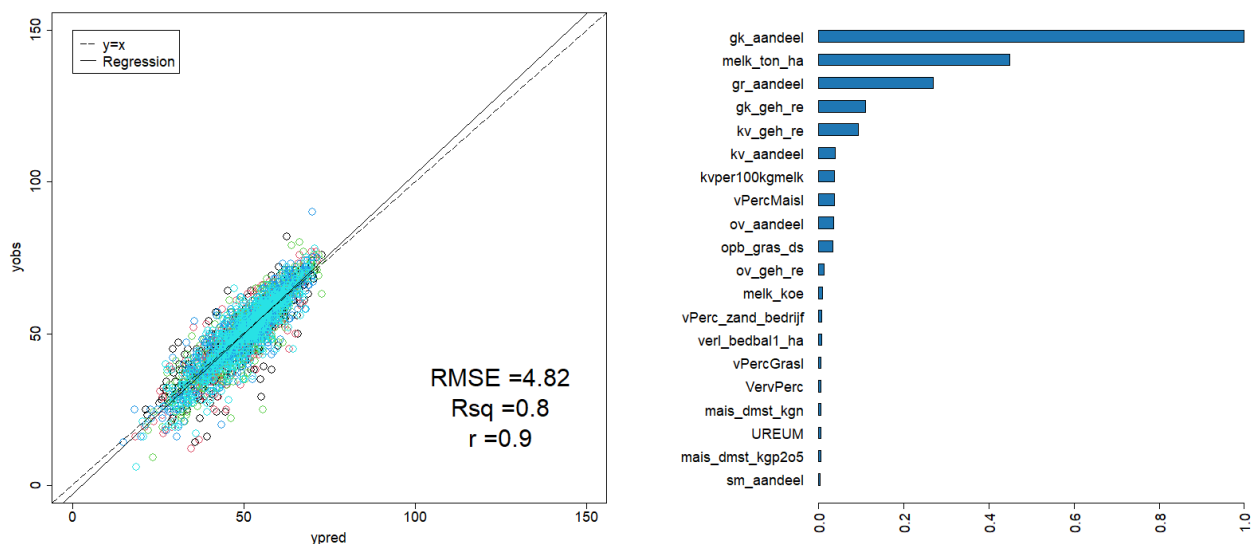
Figuur 22 Met KringloopWijzer bepaalde (yobs) versus voorspelde (ypred) waarden voor eigen eiwit in rantsoen (%) voor bedrijven met 14 - 18 ton melk per ha op basis van een iteratie van de 2x5 times CV gbm modellen en relatieve belangrijkheid van variabelen tijdens de betreffende iteratie op basis van data van 2021

Om de variatie in percentage eiwit van eigen land in het rantsoen tussen bedrijven in de klasse 14 - 18 ton melk per ha te verklaren is de intensiteit ook niet van belang. In de gbm analyse (Figuur 22) kwamen aandelen in rantsoen en eiwitgehaltenes van verschillende voergroepen als belangrijkste variabelen naar voren. In de step-wise lineaire regressie waren echter opnieuw de aan krachtvoer gerelateerd variabelen van minder belang, maar kwamen de eiwit/energie-verhouding in het rantsoen en het percentage grasland naar voren. Op basis van 6 verklarende variabelen kan een model gemaakt worden met een R^2 van 0.79. Het lineaire model ziet er als volgt uit (waarbij de standaardfout van de schatter van de coëfficiënten tussen haakjes is weergegeven):

Eiwit van eigen land in het rantsoen (%) =

$$\begin{aligned}
 &11.7 \text{ (1.70)} \\
 &+ 1.07 \text{ (0.012)} \quad * \text{ aandeel graskuil in rantsoen (\%)} \\
 &+ 1.11 \text{ (0.013)} \quad * \text{ aandeel vers gras in rantsoen (\%)} \\
 &+ 0.26 \text{ (0.012)} \quad * \text{ aandeel snijmais in rantsoen (\%)} \\
 &+ 0.25 \text{ (0.005)} \quad * \text{ RE-gehalte graskuil (g RE / kg DS)} \\
 &- 0.23 \text{ (0.010)} \quad * \text{ verhouding RE / kVEM in het rantsoen (g RE / kVEM)} \\
 &- 0.15 \text{ (0.008)} \quad * \text{ aandeel grasland op bedrijf (\%)}
 \end{aligned}$$

Intensiteit > 18 ton melk per ha



Figuur 23 Met KringloopWijzer bepaalde (yobs) versus voorspelde (ypred) waarden voor eigen eiwit in rantsoen (%) voor bedrijven met > 18 ton melk per ha op basis van een iteratie van de 2x5 times CV gbm modellen en relatieve belangrijkheid van variabelen tijdens de betreffende iteratie op basis van data van 2021

Om de variatie in percentage eiwit van eigen land in het rantsoen tussen bedrijven in de klasse > 18 ton melk per ha te verklaren is de intensiteit wel van belang. In de gbm analyse (Figuur 23) kwamen daarnaast opnieuw aandelen in rantsoen en eiwitgehalten van verschillende voergroepen als andere belangrijke variabelen naar voren. In de step-wise lineaire regressie waren echter opnieuw de aan krachtvoer gerelateerd variabelen van minder belang, maar kwamen, net als voor de klasse tussen 14 en 18 ton melk per ha, de eiwit/energie-verhouding in het rantsoen en het percentage grasland naar voren. Op basis van 6 verklarende variabelen kan een model gemaakt worden met een R^2 van 0.80. Het lineaire model ziet er als volgt uit (waarbij de standaardfout van de schatter van de coëfficiënten tussen haakjes is weergegeven):

Eiwit van eigen land in het rantsoen (%) =

$$\begin{aligned}
 &32.6 (1.76) \\
 &+ 0.89 (0.013) \quad * \text{aandeel graskuil in rantsoen (\%)} \\
 &+ 0.91 (0.018) \quad * \text{aandeel vers gras in rantsoen (\%)} \\
 &- 0.38 (0.015) \quad * \text{intensiteit (ton melk / ha)} \\
 &+ 0.23 (0.006) \quad * \text{RE-gehalte graskuil (g RE / kg DS)} \\
 &- 0.14 (0.008) \quad * \text{aandeel grasland op bedrijf (\%)} \\
 &- 0.23 (0.012) \quad * \text{verhouding RE / kVEM in het rantsoen (g RE / kVEM)}
 \end{aligned}$$

Naar een model voor alle intensiteitsklassen

Vanuit het project Home Made Eiwit was er sterk de behoefte aan een model met variabelen waarop goed gestuurd kan worden en dat geldig is voor alle intensiteitsklassen. Intensiteit wordt namelijk, in ieder geval voor de korte termijn, als een gegeven gezien in de bedrijfsadvisering. Na uitgebreide bestudering van bovenstaande uitkomsten en herberekening van enkele variabelen (combinaties van krachtvoer en vochtrijke bijproducten) heeft dit geresulteerd in onderstaande model met een R^2 van 0.78, waarbij de variabelen in willekeurige volgorde staan.

Eiwit van eigen land in het rantsoen (%) =

30.6 (0.87)

- | | |
|----------------|---|
| - 0.28 (0.007) | * verhouding RE / kVEM in het rantsoen (g RE / kVEM) |
| + 0.94 (0.007) | * aandeel vers gras in rantsoen (%) |
| + 0.86 (0.007) | * aandeel graskuil in rantsoen (%) |
| + 0.24 (0.004) | * RE-gehalte graskuil (g RE / kg DS) |
| - 0.28 (0.009) | * opname krachtvoer (incl. vochtrijke bijproducten (88% ds)) per 100 kg melk (kg) |

Toevoegen van een extra variabele RE-gehalte krachtvoer en vochtrijke bijproducten levert geen verdere verbetering van de voorspellende waarde van het model op.

3.4.3 Kenmerken van 25 % bedrijven met hoogste percentage eiwit van eigen land in het rantsoen (vraag 26)

Om te zien wat het verbeterpotentieel is met betrekking tot eiwit van eigen land in het rantsoen is gekeken naar de verschillen tussen de 25 % bedrijven met het hoogste percentage eiwit van eigen land in het rantsoen en de overige 75 %. Uit deze vergelijking (Tabel 2) blijkt dat de 25 % bedrijven met het hoogste percentage eiwit van eigen land in het rantsoen bijna 19 procentpunten hoger scoren op eiwit van eigen land dan de 75 % overige bedrijven. Belangrijkste kenmerken van deze bedrijven, die mogelijk een verklaring hiervoor kunnen geven, maar in ieder geval deze bedrijven kenmerken, zijn een lagere intensiteit, een lager RE-gehalte van het krachtvoer, meer weidegang, lagere melkproductie per koe, hogere eiwit/energie-verhouding in het rantsoen en een lager percentage zandgrond. Deze 25 % bedrijven met het hoogste percentage eiwit van eigen land in het rantsoen scoren daarnaast beter op het oude kenmerk eiwit van eigen land (teelt), BKG-emissies uit stal en mestopslag per ha, BKG-emissies gerelateerd aan aanvoer per ha en per kg FPCM, BKG-emissie uit de pens per ha en NH_3 -emissie per ha. Daarentegen scoren ze minder goed op N- en P-excretie en NH_3 -emissie per ton melk, BKG-emissies gerelateerd aan voerproductie op het eigen bedrijf per kg FPCM, BKG-emissie uit de pens per kg FPCM, totale N_2O - en CH_4 -emissies op het eigen bedrijf per kg FPCM en N-benutting.

Tabel 2 Kenmerken van 25 % bedrijven met hoogste ($n = 2852$) percentage eiwit van eigen land in het rantsoen vergeleken met de 75 % overige bedrijven (referentie groep (ref.), $n = 8579$) voor het jaar 2021. Selectie¹ gemaakt op basis van correlatie ($R^2 \geq 0.10$) van kenmerken in gehele dataset. (Gem. = gemiddelde, Vers. = verschil t.o.v. referentie groep, Perc. = procentuele verschil t.o.v. referentie groep)

Kenmerk	Eenheid	Gem.ref.	Gem.hoog	Vers.hoog	R ²	Perc.verschil
Eiwit eigen land (rantsoen)	(%)	56.2	74.9	18.8	--	33%
Intensiteit	(ton melk / ha)	17.9	12.2	-5.7	0.45	-32%
RE-gehalte krachtvoer	(g / kg ds)	213	175.8	-37.2	0.35	-17%
Weidegang melkkoeien	(uren / jaar)	880.1	1773.6	893.5	0.25	102%
Melkproductie (geleverd)	(kg / (koe * jaar))	9051.1	7745.4	-1305.7	0.23	-14%
Eiwit/energie-verhouding in rantsoen	(g RE / kVEM)	163.7	170.3	6.6	0.12	4%
Aand. zandgrond	(%)	55.8	31.1	-24.7	0.11	-44%
Eiwit van eigen land (teelt)	(%)	61.6	77.2	15.7	0.43	25%
BKG ² stal en mestopslag per ha	(kg CO ₂ -eq / ha)	2842	1884	-957	0.41	-34%
BKG ² aanvoer per ha	(kg CO ₂ -eq / ha)	6537	3678	-2859	0.41	-44%
BKG ² aanvoer per kg melk	(g CO ₂ -eq / kg FPCM)	337.5	281.5	-56	0.11	-17%
BKG ² pens per ha	(kg CO ₂ -eq / ha)	9556	7402	-2154	0.34	-23%
BKG ² pens per kg melk	(g CO ₂ -eq / kg FPCM)	509.7	581.7	72	0.25	14%
BKG ² voerproductie per kg melk	(g CO ₂ -eq / kg FPCM)	122.4	212.7	90.3	0.22	74%
N-excretie per ton melk	(kg N / ton melk)	15.9	18.8	2.9	0.32	18%
NH ₃ -emissie graasdieren per ha	(kg NH ₃ / ha)	55.2	48.5	-6.7	0.14	-12%
NH ₃ -emissie graasdieren per ton melk	(kg NH ₃ / ton melk)	3.3	4.2	0.9	0.28	27%
N ₂ O-emissie on-farm	(kg N ₂ O / kg FPCM)	0.6	0.9	0.4	0.22	67%
P-excretie per ton melk	(kg P ₂ O ₅ / ton melk)	4.8	5.7	0.8	0.21	17%
CH ₄ -emissie on-farm	(kg CH ₄ / kg FPCM)	21.5	24.4	2.9	0.19	13%
N-benutting bedrijf	(%)	37.3	29.7	-7.6	0.18	-20%

¹ Variabelen die wel getoetst zijn maar niet opgenomen in de tabel ($R^2 < 0.10$) zijn: aandeel kleigrond, aandeel veengrond, aandeel eigen eiwit in droge krachtvoerders en/of overig ruwvoer en vochtrijke (bij)producten, jongveebezetting, grasopbrengst, maisopbrengst, krachtvoer per 100 kg melk (excl. bijproducten), RE-gehalte rantsoen, RE-gehalte vers gras, RE-gehalte graskuil, RE-gehalte snijmais, RE-gehalte overig ruwvoer en vochtrijke (bij)producten, BKG totaal per kg melk, BKG stal en mestopslag per kg melk, BKG energie per kg melk, BKG energie per ha, BKG voerproductie per ha, NH₃-emissie graasdieren per GVE, NH₃-emissie uit stal en mestopslag per GVE, NH₃-emissie bemesting en oogst per ha, N-bodemoverschot, N-bedrijfsoverschot, P-bedrijfsoverschot, ureumgehalte melk.

² BKG = broeikasgasemissies

4 Discussie en conclusies

De in dit rapport gepresenteerde resultaten zijn afkomstig van analyses op KringloopWijzer data. Dit houdt in dat bedrijven met elkaar vergeleken worden en getracht wordt de variatie tussen bedrijven zo goed mogelijk te verklaren. Effecten van maatregelen die één van de verklarende variabelen in een regressiemodel lijken te beïnvloeden zijn dan ook niet één-op-één door te vertalen naar te verwachten resultaten binnen bedrijven, omdat managementmaatregelen vaak vele aspecten van de bedrijfsvoering zullen beïnvloeden. Ook gaat het hier louter om statistische relaties, die niet per se oorzakelijke verbanden weergeven. Resultaten zoals deze kunnen wel inzicht geven in de verschillende kenmerken van bedrijven die beter of minder goed scoren op bepaalde prestatie-indicatoren. Deze verschillen kunnen aanleiding geven om na te denken over verbeterstrategieën op het eigen bedrijf of voor groepen bedrijven. De formules zijn niet geschikt om scenario's binnen een bedrijf door te rekenen. Dit was ook mede aanleiding voor de projecten K&E en Home Made Eiwit om dit onderzoek te initiëren.

Bij de presentatie van de analyseresultaten is gezocht naar een balans tussen de prestaties van het model, het aantal verklarende variabelen en uitlegbaarheid, waardoor o.a. interacties niet zijn opgenomen in de uiteindelijk gerapporteerde modellen. Ook is bij de één-op-één relaties alleen naar een lineaire relatie gekeken en niet naar eventueel aanwezige kwadratische of exponentiële verbanden. Hierdoor zouden sommige relaties gemist kunnen worden. Echter, doordat de één-op-één relaties ook in figuren weergegeven zijn, zouden duidelijk aanwezige niet-lineaire relaties daar alsnog zichtbaar zijn in de vorm van de puntenwolk. Doordat naast de lineaire regressiemethode ook de gbm-methode gebruikt is, zou een belangrijk niet-lineair of interactie effect moeten blijken uit aanzienlijke verschillen in prestaties tussen de beide methoden. Deze zijn bij de uitgevoerde analyses niet aangetroffen.

Verder moet bij de interpretatie van de resultaten rekening gehouden worden met het feit dat hier gerekend is met modeluitkomsten op basis van de rekenregels van de KringloopWijzer als 'werkelijke' waarden. Indien daarin opgenomen aannames in twijfel getrokken worden of niet meer geldig zijn, bijvoorbeeld de NH₃-emissiereductiepercentages van stallen (Van Bruggen and Geertjes, 2019; Groenestein et al., 2023), dan heeft dit ook consequenties voor de gerapporteerde verbanden.

4.1 Ruw eiwitgehalte in het rantsoen

De K&E-deelnemers vormen een goede representatie van de gehele populatie bedrijven als gekeken wordt naar het aan het begin van het project gevoerde RE-gehalte in het rantsoen. Ook als we kijken binnen grondsoort en intensiteitsklassen zien we een goede representatie.

Bedrijven op veen voeren een wat hoger en bedrijven op zand een wat lager RE-gehalte in het rantsoen in vergelijking tot de bedrijven op klei, mogelijk veroorzaakt door een hoger aandeel gras respectievelijk mais in het bouwplan en rantsoen op veen en zand.

De correlatie tussen RE-gehalte in het rantsoen en ureumgehalte in de melk bleek vrij zwak, hetgeen duidt op een complexere relatie tussen deze twee kengetallen. Voor de verklaring van het RE-gehalte in het rantsoen zijn vooral rantsoenkenmerken zoals RE-gehalte van de eiwitrijke componenten (grasproducten en krachtvoer) en aandeel in het rantsoen van de overige voergroepen (mais, overig ruwvoer en bijproducten) van belang. Als vervolgens gekeken wordt naar kenmerken van de 10 % bedrijven met laagste en hoogste RE-gehalte in het rantsoen ten opzichte van de overige bedrijven dan komen dezelfde verklarende variabelen weer in beeld. Wat betreft resultaatsindicatoren komen vooral NH₃-emissie gerelateerde indicatoren in beeld en ook het ureumgehalte in de melk. Een positieve bevinding is ook dat bedrijven met een laag RE-gehalte in het rantsoen ook een lagere BKG-emissie uit eigen voerproductie laten zien.

4.2 Ammoniakemissie

De directe, één-op-één, relaties tussen RE-gehalte in het rantsoen, ureum gehalte in de melk of N-overschot per ha ten opzichte van NH₃-emissie per ha blijken zeer gering te zijn. Alleen als de NH₃-emissie wordt uitgedrukt per GVE dan is er een iets sterkere, maar nog steeds geringe relatie met het RE-gehalte in het rantsoen. Als we echter kijken naar de verklarende variabelen voor NH₃-emissie per ha dan blijkt het RE-gehalte van het rantsoen, na intensiteit, wel degelijk een belangrijke verklarende variabele te zijn. Daarnaast spelen factoren als emissiereductiepercentage van de melkveeststal, bemestingsniveau en opbouw van de veestapel een rol. Dat na intensiteit RE-gehalte van het rantsoen de belangrijkste verklarende variabele is, geeft aan dat binnen een bepaalde bedrijfsopzet (intensiteit, staltype, etc) de NH₃-emissie te verlagen is door het RE-gehalte in het rantsoen te verlagen.

Als we de totale NH₃-emissie van het bedrijf opsplitsen en de emissies uit stal en mestopslag uitdrukken per GVE en de emissies gerelateerd aan gewasproductie uitdrukken per ha, dan zien we dat de eerste veel beter voorspelbaar is dan de tweede. En voor de eerste zien we opnieuw het belang van stalsysteem en RE-gehalte van het rantsoen. Doordat de NH₃-emissie uit stal en mestopslag is uitgedrukt per GVE speelt intensiteit hier geen rol meer.

4.3 Broeikasgassen

Relaties tussen diverse BKG-indicatoren, allemaal uitgedrukt per kg FPCM, en RE-gehalte van het rantsoen of NH₃-emissie per ha zijn allemaal gering of afwezig. Alleen als zowel BKG- als NH₃-emissie uitgedrukt worden per kg melk is er sprake van een licht positieve correlatie, hetgeen aangeeft dat een gelijktijdige goede score op beide indicatoren mogelijk is.

4.4 Eiwit van eigen land

De directe relatie tussen RE-gehalte in het rantsoen en eiwit van eigen land is gering. Dit komt vooral doordat er een grote invloed van intensiteit is bij de verklaring van het percentage eigen eiwit in het rantsoen en daarnaast het RE-gehalte van de verschillende voergroepen en hun aandelen in het rantsoen belangrijker zijn dan het totale RE-gehalte van het rantsoen. Om een duidelijker beeld te krijgen van de verklarende variabelen zijn regressieformules voor 3 intensiteitsklassen (≤ 14 , 14-18 en > 18 ton melk / ha) opgesteld, waarbij alleen in de hoogste klasse intensiteit nog voorkomt in het regressiemodel. Vooral de RE-gehalten van de eigen verbouwde voergroepen gras en mais en hun aandelen in het rantsoen bleken voor alle intensiteitsklassen van belang in de voorspelling van het aandeel eiwit van eigen land, maar ook de verhouding tussen RE- en energiegehalte in het rantsoen kwam in alle modellen als verklarende variabele die van belang is naar voren.

Literatuur

- Groenestein, K., P. W. Goedhart, C. Van Bruggen, I. De Jonge, and N. Ogink. 2023. Schatting van stikstofverliezen uit stallen op basis van de stikstof-fosfaat verhouding in afgevoerde mest - Evaluatie van de NP-methode en effect van staltype, Wageningen Livestock Research, Wageningen. 10.18174/631641
- Mollenhorst, H., and M. H. A. De Haan. 2021. Analyse Kringloopwijzer data 2016-2018, Wageningen Livestock Research, Wageningen.
- Mollenhorst, H., M. H. A. De Haan, J. Oenema, and C. Kamphuis. 2020. Field and crop specific manure application on a dairy farm based on historical data and machine learning. *Comput Electron Agric* 175doi: 10.1016/j.compag.2020.105599
- Van Bruggen, C., and K. Geertjes. 2019. Stikstofverlies uit opgeslagen mest : stikstofverlies berekend uit het verschil in verhouding tussen stikstof en fosfaat bij excretie en bij mestafvoer, Centraal Bureau voor de Statistiek, Den Haag.
- Van Dijk, W., J. De Boer, M. H. A. De Haan, P. Mostert, J. Oenema, and J. Verloop. 2020. Rekenregels van de KringloopWijzer 2020 : achtergronden van BEX, BEA, BEN, BEP en BEC: actualisatie van de 2019-versie. Rapport / Stichting Wageningen Research, Wageningen Plant Research, Business unit Agrosystems Research ; WPR-1023. Stichting Wageningen Research, Wageningen Plant Research, Business unit Agrosystems Research, Wageningen.
- Van Dijk, W., J. De Boer, M. H. A. De Haan, P. Mostert, J. Oenema, and J. Verloop. 2021. Rekenregels van de KringloopWijzer 2021 : achtergronden van BEX, BEA, BEN, BEP en BEC: actualisatie van de 2020-versie. WPR-1119, Stichting Wageningen Research, Wageningen Plant Research, Business unit Agrosystems Research, Wageningen.
- Witten, I. H., and E. Frank. 2005. *Data mining : practical machine learning tools and techniques*. Second ed. Elsevier/Morgan Kaufmann, San Fransisco, CA.

Bijlage 1 Rekenregels controle dataset

Gehanteerde grenzen om de dataset op te schonen.

Parameter	Ondergrens	Bovengrens
4. Melkproductie per bedrijf	15000	
5. Vetgehalte melk	3	7
6. Eiwitgehalte melk	2.5	5.5
7. Vet-eiwit-verhouding	1	1.5
8. Ureum melk	9	40
9. Melkproductie per koe	4000	15000
10. Aantal koeien	10	
11. Afvoer melkkoeien	1	
12. Vervangingspercentage	0.05	2
13. Verkochte kalveren+nuka's i.r.t. aantal aanwezige kalveren.	1	
14. Weideperiode	0	300
15. Aandeel vers gras	0	60
16. Aandeel graskuil	0	80
17. Aandeel snijmais	0	60
18a. Aandeel overig ruwvoer	0	40
18b. Aandeel bijproducten	0	40
19. Aandeel krachtvoer en melkpoeder	0	60
20. Krachtvoeropname per 100 kg melk	0	60
21. Voerefficiëntie	0.4	1.5
22. RE-gehalte in het rantsoen	120	200
23. Fosforgehalten in het rantsoen	2.5	6
24. Gewasopbrengst productiegras	1000	20000
25. Gewasopbrengst mais	1000	25000
25a. Gewasopbrengst akkerbouw N	1	
25a. Gewasopbrengst akkerbouw P	1	
26. Wel productiegrasland > 1 ha, maar geen of te lage ds-opbrengst.	3000	
27. Wel maisland, maar geen of te lage ds-opbrengst	3000	
28. N-gehalte afgevoerde rundveedrijfmest	0.3	10
29. P2O5-gehalte afgevoerde rundveedrijfmest	0.3	5
30. N-gehalte in beginvoorraad rundveedrijfmest	0.3	10
30. N-gehalte in eindvoorraad rundveedrijfmest	0.3	10
31. P2O5-gehalte in beginvoorraad rundveedrijfmest	0.3	5
31. P2O5-gehalte in eindvoorraad rundveedrijfmest	0.3	5
32. Beginvoorraad organische meststoffen	10	
32. Eindvoorraad organische meststoffen	10	
33. Stikstofbemesting uit dierlijke meststoffen per ha bedrijfsoppervlak	50	400
34. Stikstofbemesting uit kunstmest per ha bedrijfsoppervlak	0	400
35. Berekende stikstofbemesting uit dierlijke mest per hectare productiegras	0	1000
36. Berekende stikstofbemesting uit dierlijke mest per hectare mais	0	1000
37. Berekende stikstofbemesting uit dierlijke mest per hectare overig bouwland	0	1000
38. N benutting	12	35
39. P benutting	15	50
40. Stikstofbenutting totaal bedrijf	10	90
41. fosfaatbenutting totaal bedrijf	1	100
42. Stikstof bodemoverschot	-100	450
42a. Bodemoverschot grasland, stikstof, per ha	-200	600
42b. Bodemoverschot snijmaisland, stikstof, per ha	-200	600
42c. Bodemoverschot overig bouwland, stikstof, per ha	-200	600
42d. Bodembalans natuurland - stikstof: overschot	-200	600
43. Fosfaat bodemoverschot	-100	100
43a. Bodemoverschot grasland, fosfaat, per ha	-100	100
43b. Bodemoverschot snijmaisland, fosfaat, per ha	-100	100
43c. Bodemoverschot overig bouwland, fosfaat, per ha	-100	100
43d. Bodembalans natuurland - fosfaat: overschot	-100	100
44. Stikstofoverschot bedrijf	0	550
45. Wel graslandproductie, maar pceigen_n op 0	1	
46. Wel graslandproductie, maar pceigen_p op 0	1	
47. Wel graslandproductie, maar pceigen_vem op 0	1	
48. VEM-gehalte in het rantsoen	800	1200
49a. Voorraad-meting/BEX - Verhouding DS	0.5	2
49b. Voorraad-meting/BEX - Verhouding VEM	0.5	2
49c. Voorraad-meting/BEX - Verhouding N	0.5	2
49d. Voorraad-meting/BEX - Verhouding P	0.5	2
49e. Voorraad-meting/BEX - Verhouding ruwvoer (vem-gat)	0.4	2.5
49f. Voorraad-meting/BEP berekend - Verhouding grasland obv DS	0.4	2.5
49g. Voorraad-meting/BEP berekend - Verhouding maisland obv DS	0.4	2.5
50a. N-gehalte in beginvoorraad vaste rundveemest	3	30
50b. N-gehalte in eindvoorraad vaste rundveemest	3	30
51a. P2O5-gehalte in beginvoorraad vaste rundveemest	1	20

Parameter	Ondergrens	Bovengrens
51b. P2O5-gehalte in eindvoorraad vaste rundveemest	1	20
52a. N-gehalte in beginvoorraad drijfmest intensief	0.5	30
52b. N-gehalte in eindvoorraad drijfmest intensief	0.5	30
53a. P2O5-gehalte in beginvoorraad drijfmest intensief	1	20
53b. P2O5-gehalte in eindvoorraad drijfmest intensief	1	20
54a. N-gehalte in beginvoorraad vaste mest intensief	3	75
54b. N-gehalte in eindvoorraad vaste mest intensief	3	75
55a. P2O5-gehalte in beginvoorraad vaste mest intensief	1	60
55b. P2O5-gehalte in eindvoorraad vaste mest intensief	1	60
56a. Check beginvoorraad compost i.r.t. stikstofgehalten	0.01	50
56b. Check eindvoorraad compost i.r.t. stikstofgehalten	0.01	50
56c. Check beginvoorraad compost i.r.t. fosfaatgehalten	0.01	50
56d. Check eindvoorraad compost i.r.t. fosfaatgehalten	0.01	50
57a. N-gehalte in beginvoorraad dunne fractie	0.2	30
57b. N-gehalte in eindvoorraad dunne fractie	0.2	30
58a. P2O5-gehalte in beginvoorraad dunne fractie	0.01	5
58b. P2O5-gehalte in eindvoorraad dunne fractie	0.01	5
59a. N-gehalte in beginvoorraad dikke fractie	3	30
59b. N-gehalte in eindvoorraad dikke fractie	3	30
60a. P2O5-gehalte in beginvoorraad dikke fractie	1	30
60b. P2O5-gehalte in eindvoorraad dikke fractie	1	30
61. Check op negatieve gehalten in gr_geh_vem	0	
61. Check op negatieve gehalten in gk_geh_vem	0	
61. Check op negatieve gehalten in sm_geh_vem	0	
61. Check op negatieve gehalten in rv_geh_vem	0	
61. Check op negatieve gehalten in bp_geh_vem	0	
61. Check op negatieve gehalten in kv_geh_vem	0	
61. Check op negatieve gehalten in mp_geh_vem	0	
61. Check op negatieve gehalten in gr_geh_re	0	
61. Check op negatieve gehalten in gk_geh_re	0	
61. Check op negatieve gehalten in sm_geh_re	0	
61. Check op negatieve gehalten in rv_geh_re	0	
61. Check op negatieve gehalten in bp_geh_re	0	
61. Check op negatieve gehalten in kv_geh_re	0	
61. Check op negatieve gehalten in- mp_geh_re	0	
61. Check op negatieve gehalten in gr_geh_p	0	
61. Check op negatieve gehalten in gk_geh_p	0	
61. Check op negatieve gehalten in sm_geh_p	0	
61. Check op negatieve gehalten in rv_geh_p	0	
61. Check op negatieve gehalten in bp_geh_p	0	
61. Check op negatieve gehalten in kv_geh_p	0	
61. Check op negatieve gehalten in mp_geh_p	0	
62. Check op negatieve uitkomsten: vastlegging N in overige graasdieren	-0.05	
63. Allocatie broeikasgassen	0.5	

Bijlage 2 Overzicht gebruikte variabelen

Naam, omschrijving en eenheid van alle in de analyses voor dit rapport gebruikte variabelen in alfabetische volgorde

Variable naam	Omschrijving	Eenheid
benut_n_bed	N-benutting bedrijf	(%)
Biobedrijf	Biologisch bedrijf (ja/nee)	
bkg_alloc_fpcm	Allocatie melkproductie	(%)
bp_aandeel	Aandeel in totale rantsoen, van vochtrijke (bij)producten	(%)
bp_geh_re	RE-gehalte vochtrijke (bij)producten	(g / kg ds)
bp_geh_vem	VEM-gehalte vochtrijke (bij)producten	(VEM / kg ds)
co2_aanv_ha	BKG aanvoer per ha	(g CO ₂ -eq / ha)
co2_ene_ha	BKG energie per ha	(g CO ₂ -eq / ha)
co2_pens_ha	BKG pens per ha	(g CO ₂ -eq / ha)
co2_stal_ha	BKG stal en mestopslag per ha	(g CO ₂ -eq / ha)
co2_voer_ha	BKG voerproductie op eigen bedrijf per ha	(g CO ₂ -eq / ha)
dzh_co2_aanvoer	BKG aanvoer	(g CO ₂ -eq / kg FPCM)
dzh_co2_energie	BKG energie	(g CO ₂ -eq / kg FPCM)
dzh_co2_melkprod	BKG totaal	(g CO ₂ -eq / kg FPCM)
dzh_co2_mestopsl	BKG stal en mestopslag	(g CO ₂ -eq / kg FPCM)
dzh_co2_pensferm	BKG pensfermentatie	(g CO ₂ -eq / kg FPCM)
dzh_co2_voerprod	BKG voerproductie op eigen bedrijf	(g CO ₂ -eq / kg FPCM)
dzh_eiwit_pcrants	Eiwit van eigen land (rantsoen)	(%)
dzh_eiwit_pcteelt	Eiwit van eigen land (teelt)	(%)
dzh_nbodem_over	N-bodemoverschot	(kg N / ha)
dzh_nh3_bedrgve	NH ₃ -emissie graasdieren per GVE	(kg NH ₃ / GVE)
dzh_nh3_bedrha	NH ₃ -emissie graasdieren per ha	(kg NH ₃ / ha)
dzh_nh3_landha	NH ₃ -emissie bemesting en oogst per ha	(kg NH ₃ / ha)
dzh_nh3_stalgve	NH ₃ -emissie uit stal en mestopslag per GVE	(kg NH ₃ / GVE)
em_nh3_tonmelk	Ammoniakemissie per ton melk	(kg NH ₃ / ton melk)
emch4_on_fpcm	CH ₄ -emissie on-farm	(kg CH ₄ / ton FPCM)
emch4_on_gve	CH ₄ -emissie on-farm	(kg CH ₄ / GVE)
emn2o_on_fpcm	N ₂ O-emissie on-farm	(kg N ₂ O / ton FPCM)
excretie1_melk	N-excretie per ton melk	(kg N / ton melk)
excretie2_melk	P-excretie per ton melk	(kg P ₂ O ₅ / ton melk)
gk_aandeel	Aandeel in totale rantsoen, van grasland oogstproducten	(%)
gk_geh_re	RE-gehalte grasland oogstproducten	(g / kg ds)
gk_geh_vem	VEM-gehalte grasland oogstproducten	(VEM / kg ds)
gr_aandeel	Aandeel in totale rantsoen, van vers gras	(%)
gr_geh_re	RE-gehalte vers gras	(g / kg ds)
gr_geh_vem	VEM-gehalte vers gras	(VEM / kg ds)
graspr_dmst_kgn	N-bemesting productiegasland uit organische mest	(kg N / ha)
graspr_dmst_kgp2o5	P-bemesting productiegasland uit organische mest	(kg P ₂ O ₅ / ha)
graspr_dmst_m3	Bemesting productiegasland met organische mest	(ton / ha)
graspr_kmst_kgn	N-bemesting productiegasland uit kunstmest	(kg N / ha)
graspr_kmst_kgp2o5	P-bemesting productiegasland uit kunstmest	(kg P ₂ O ₅ / ha)
jvper10mk	Jongveebezetting	(# / 10 melkkoeien)
kv_aandeel	Aandeel in totale rantsoen, van droge krachtvoerders	(%)
kv_geh_re	RE-gehalte droge krachtvoerders	(g / kg ds)
kv_geh_vem	VEM-gehalte droge krachtvoerders	(VEM / kg ds)
kvbpper100kgmelk	Opname krachtvoer per 100 kg melk, incl. vochtrijke bijproducten (88% ds)	(kg / 100 kg melk)
kvper100kgmelk	Opname krachtvoer per 100 kg melk, excl. vochtrijke bijproducten	(kg / 100 kg melk)
mais_dmst_kgn	N-bemesting maisland uit organische mest	(kg N / ha)
mais_dmst_kgp2o5	P-bemesting maisland uit organische mest	(kg P ₂ O ₅ / ha)
mais_dmst_m3	Bemesting maisland met organische mest	(ton / ha)
mais_kmst_kgn	N-bemesting maisland uit kunstmest	(kg N / ha)
mais_kmst_kgp2o5	P-bemesting maisland uit kunstmest	(kg P ₂ O ₅ / ha)
melk_koe	Geleverde melk per gemiddeld aanwezige koe	(kg melk / (koe * jaar))
melk_ton_ha	Intensiteit	(ton melk / ha)
nkoe	Aantal melkkoeien, gemiddeld aanwezig	(#)
opb_gras_ds	Grasopbrengst	(kg ds / ha)
opb_mais_ds	Maisopbrengst	(kg ds / ha)
ov_aandeel	Aandeel in totale rantsoen, van overig ruwvoer en bijproducten	(%)
ov_geh_re	RE-gehalte overig ruwvoer en bijproducten	(g / kg ds)
ov_geh_vem	VEM-gehalte overig ruwvoer en bijproducten	(VEM / kg ds)
rantsoen_eiweig_kv	Aandeel eigen eiwit in droge krachtvoerders	(%)
rantsoen_eiweig_ov	aandeel eigen eiwit in overig ruwvoer en vochtrijke (bij)producten,	(%)
rantsoen_eiweig_kvov	aandeel eigen eiwit in droge krachtvoerders en overig ruwvoer en vochtrijke (bij)producten,	(%)
rantsoen_geh_re	Ruw eiwit gehalte rantsoen	(g RE / kg ds)
rantsoen_rekvm	Verhouding RE / kVEM in rantsoen	(g RE / kVEM)
rv_aandeel	Aandeel in totale rantsoen, van overig ruwvoer	(%)
rv_geh_re	RE-gehalte overig ruwvoer	(g / kg ds)
rv_geh_vem	VEM-gehalte overig ruwvoer	(VEM / kg ds)

Variabele naam	Omschrijving	Eenheid
sm_aandeel	Aandeel in totale rantsoen, van snijmaïs oogstproducten	(%)
sm_geh_re	RE-gehalte snijmaïs	(g / kg ds)
sm_geh_vem	VEM-gehalte snijmaïs	(VEM / kg ds)
stalemreddrijf	Reductie NH ₃ -emissie in RAV-stallen	(%)
stalsysdrijf	Percentage drijfmest stalsysteem	(%)
ureum	Ureumgehalte melk	(mg / 100g)
verl_bedbal1_ha	N-bedrijfsoverschot	(kg N / ha)
verl_bedbal2_ha	P-bedrijfsoverschot	(kg P ₂ O ₅ / ha)
VervPerc	Vervangingspercentage	(%)
vPerc_klei_bedrijf	Aandeel kleigrond	(%)
vPerc_veen_bedrijf	Aandeel veengrond	(%)
vPerc_zand_bedrijf	Aandeel zandgrond	(%)
vPercGrasl	Percentage grasland	(%)
vPercMaisl	Percentage maisland	(%)
weidmk_urn_jr	Weidegang melkkoeien	(uren / jaar)

To explore
the potential
of nature to
improve the
quality of life



Wageningen Livestock Research
Postbus 338
6700 AH Wageningen
T 0317 48 39 53
E info.livestockresearch@wur.nl
www.wur.nl/livestock-research

Wageningen Livestock Research ontwikkelt kennis voor een zorgvuldige en renderende veehouderij, vertaalt deze naar praktijkgerichte oplossingen en innovaties, en zorgt voor doorstroming van deze kennis. Onze wetenschappelijke kennis op het gebied van veehouderijsystemen en van voeding, genetica, welzijn en milieu-impact van landbouwhuisdieren integreren we, samen met onze klanten, tot veehouderijconcepten voor de 21e eeuw.

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen 9 gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research en Wageningen University hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.500 medewerkers en 10.000 studenten behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

