

Nabij-infrarood spectroscopie (NIRS) voor de hygiëniseringsbepaling van de dikke fractie mest na mestscheiding

P.J.L. Derikx, H. Heskamp, M. Alewijn en B. van de Kooij



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Nabij-infrarood spectroscopie (NIRS) voor de hygiënische bepaling van de dikke fractie mest na mestscheiding

P.J.L. Derikx, H. Heskamp, M. Alewijn en B. van de Kooi

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen Food Safety Research, instituut binnen de rechtspersoon Stichting Wageningen Research in opdracht van en gesubsidieerd door het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit.

Wageningen, maart 2021

WFSR-rapport 2021.003

Derikx, P.J.L., Heskamp, H., Alewijn, M., van de Kooi, B., 2021. *Nabij-infrarood spectroscopie (NIRS) voor de hygiëniserings bepaling van de dikke fractie mest na mestscheiding*. Wageningen, Wageningen Food Safety Research, WFSR-rapport 2021.003. 34 blz.; 8 fig.; 8 tab.; 22 ref.

Projectnummer: 1227291801

BAS-code: WOT-04-008-030

Projecttitel: Nabij-infrarood spectroscopie (NIRS) voor de hygiëniserings bepaling van de dikke fractie mest na mestscheiding

Projectleider: P.J.L. Derikx

Dit rapport is gratis te downloaden op <https://doi.org/10.18174/543113> of op <http://www.wur.nl/food-safety-research> (onder WFSR publicaties).

© 2021 Wageningen Food Safety Research, instituut binnen de rechtspersoon Stichting Wageningen Research. Hierna te noemen WFSR.

Het is de opdrachtgever toegestaan dit rapport integraal openbaar te maken en ter inzage te geven aan derden. Zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van het WFSR is het niet toegestaan:

- a. *dit door WFSR uitgebrachte rapport gedeeltelijk te publiceren of op andere wijze gedeeltelijk openbaar te maken;*
- b. *dit door WFSR uitgebrachte rapport, c.q. de naam van het rapport of WFSR, geheel of gedeeltelijk te doen gebruiken ten behoeve van het instellen van claims, voor het voeren van gerechtelijke procedures, voor reclame of antireclame en ten behoeve van werving in meer algemene zin;*
- c. *de naam van WFSR te gebruiken in andere zin dan als auteur van dit rapport.*

Postbus 230, 6700 AE Wageningen, T 0317 48 02 56, E info.wfsr@wur.nl, www.wur.nl/food-safety-research. WFSR is onderdeel van Wageningen University & Research.

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

WFSR-rapport 2021.003

Verzendlijst:

- L. Oprel, DAK, LNV
- P. Suijker, NVWA
- J. Noordsij, LNV
- A. de Roo, Dynalynx

Inhoud

	Woord vooraf	5
	Samenvatting	7
1	Inleiding	9
2	Materialen en methoden	11
	2.1 Bepaling van de samenstelling van de mestmonsters	11
	2.2 Bereiding van gehygiëniseerde mestmonsters	11
	2.3 Acquisitie van de NIR spectra	12
	2.4 Ontwikkeling van het statistische model	13
	2.4.1 Partial Least Squares Discriminant Analysis (PLS-DA) en Principle Component Analysis (PCA)	13
	2.4.2 Feedforward Neural Networks	13
	2.4.3 Support vector machine (SVM)	13
	2.4.4 Statistisch model: MicroNIR On-site scanner	13
	2.4.5 Statistisch model: MMA scanner	14
	2.5 Ontwikkeling van de data infrastructuur	14
	2.6 Pilot NIRS scanners	15
3	Resultaten & Discussie	17
	3.1 Samenstelling van de kalibratiemonsters	17
	3.2 Het ontwikkelde statistische model	18
	3.2.1 Onderscheiding van gehygiëniseerde en niet-gehygiëniseerde mest met de MicroNIR	18
	3.2.2 Statistisch model voor de hygiënisatie bepaling met de MMA Scanner	19
	3.3 Het ontwikkelde IT-systeem	22
	3.4 Resultaten pilot NIRS scanners	23
4	Conclusies en aanbevelingen	25
	Literatuur	26
	Bijlage 1 Handleiding gebruik NIR-scanner	27
	Bijlage 2 Bemonsteringsprotocol voor microbiologische analyse	28
	Bijlage 3 Nutriënten samenstelling van de referentiemonsters	30
	Bijlage 4 Resultaten MicroNIR	31
	Bijlage 5 Aanvullende informatie over het statistische model en de opgezette IT-omgeving	32

Woord vooraf

Binnen de Europese Unie is het verplicht dat mest voor export wordt gehygiëniseerd tenzij er toestemming is verleend door het ontvangende land. In het huidige toezicht op de naleving van de hygiëniseringsbepalingen wordt gebruik gemaakt van de logginggegevens (bijv. temperatuurmeters in de mest) van de erkende bedrijven die daarmee aan moeten (blijven) tonen dat zij in staat zijn om op de gevalideerde wijze te werken. Daarnaast kan de inspecteur ook zelf monsters van de gehygiëniseerde mest nemen om met microbiologische laboratoriumanalyses bevestigd te krijgen dat de werkwijze voldoet. Deze manier van toezichthouden is tijdrovend en geeft niet direct uitsluitel. Met name in het toezicht buiten de erkende mestbewerkingslocaties heeft de NVWA op dit moment nauwelijks mogelijkheden om de gehygiëniseerde status van een vracht mest te kunnen vaststellen. In dit onderzoek is de potentie van nabij-infrarood spectroscopie (NIRS) onderzocht als alternatief op het gebruik van microbiologische analyses. Het voordeel van NIRS is dat het een zeer korte analyse tijd vereist, op locatie met een handheld scanner uitgevoerd kan worden en simultaan de samenstelling van de mest kan bepalen.

Het hier beschreven onderzoek is uitgevoerd in nauwe samenwerking met NVWA en met Dynalynx. Daarbij is een heldere scheiding aangebracht tussen de commerciële activiteiten (meten van de mestsamenstelling) en de toezichtactiviteiten (bepalen van de verhitting). Onderzoek- en ontwikkelingswerk met betrekking tot dat laatstgenoemde aspect is gefinancierd door het ministerie van LNV met WOT gelden binnen het thema Natuur en Milieu.

Samenvatting

In Nederland is er sprake van een mestoverschot doordat er meer mest wordt geproduceerd dan binnen de gebruiksnormen op de landbouwgrond aangewend kan worden (1,2). Het overschot wordt deels verwerkt in biomassacentrales ten behoeve van elektriciteitsopwekking (pluimveemest), maar voor het grootste deel geëxporteerd. Om verspreiding van dierziekten tegen te gaan geldt binnen de Europese Unie de verplichting mest voor export te hygiëniseren, tenzij er toestemming is verleend door het ontvangende land, dit komt met name voor bij mest die afkomstig is van pluimvee of paarden. De hygiënisatie van mest moet worden uitgevoerd door de mest ten minste één uur lang te verwarmen op 70°C, of door toepassing van een gelijkwaardige behandeling (6). Het verwarmen van mest werkt kostenverhogend en mede hierdoor is het noodzakelijk om er toezicht op te houden.

Er wordt momenteel gebruik gemaakt van microbiologische laboratoriumanalyses om te handhaven of de mest daadwerkelijk voor export wordt gehygiëniseerd. De uitslagen van deze laboratoriumanalyses zijn pas na een aantal dagen beschikbaar, hierdoor is deze manier van testen in de praktijk moeizaam toepasbaar.

In dit onderzoek is onderzocht of nabij-infrarood spectroscopie (NIRS) technologie als alternatief ingezet kan worden om na te gaan of de dikke fractie varkens- en rundmest na scheiding hygiënisatie heeft ondergaan. NIRS heeft als voordeel dat het op locatie door inspecteurs toegepast kan worden met behulp van handheld apparatuur en dat de resultaten van de analyse direct beschikbaar zijn voor de handhaving. Daarnaast heeft NIRS als voordeel dat het ook toegepast kan worden voor de bepaling van de nutriëntensamenstelling (9, 10, 11).

Het onderzoek heeft geleid tot de ontwikkeling van een statistisch model (een combinatie van Partial Least Squares Discriminant Analysis (PLS-DA), Support Vector Machine (SVM) en Feedforward Neural Networks) dat gebruikt kan worden om op basis van NIRS spectra van het Module Mest Analyse (MMA) handheld NIRS systeem van Dynalynx te bepalen of mest is gehygiëniseerd. Daarnaast is het met dit NIRS systeem mogelijk om het stikstof, fosfor, kalium en droge stof gehalte van de mest te bepalen (12).

Op basis van een initiële validatie met gebruik van een relatief kleine set van in het laboratorium gehygiëniseerde mestmonsters is een accuraatheid van 75% voor het model van de hygiënisatie bepaling vastgesteld. Hiermee is aangetoond dat met NIRS onderscheid gemaakt kan worden tussen gehygiëniseerde en niet-gehygiëniseerde mest. Er is een applicatie en beveiligd IT-systeem ontwikkeld zodat deze NIRS scanners voor handhaving toegepast kunnen worden en is er vervolgens een pilot uitgevoerd waarbij de NIRS scanners in gebruik zijn genomen door mestinspecteurs.

Uit deze pilot van beperkte omvang blijkt dat het statistische model voor de hygiënisatiebepaling vooralsnog onvoldoende betrouwbaar is voor gebruik in de praktijk. Om het model mogelijk genoeg betrouwbaar te kunnen maken voor de praktijk zal het model van de hygiënisatie bepaling moeten worden verbeterd door uitbreiding van het kalibratiemodel met NIRS spectra van een groot aantal mestmonsters die onder praktijkomstandigheden zijn geanalyseerd.

Tussentijds zijn de uitgangspunten en de globale aanpak van dit project in internationaal verband voor het voetlicht gebracht (21, 22).

1 Inleiding

In Nederland wordt meer mest geproduceerd dan er binnen de geldende gebruiksnormen op landbouwgrond aangewend kan worden (1, 2). Het overschot aan mest wordt deels verbrand in biomassa-centrales ten bate van elektriciteitsopwekking (pluimveemest) en deels geëxporteerd, eventueel na verwerking tot mestkorrels. In verband met transportkosten wordt de benodigde export voornamelijk gerealiseerd door middel van export van de dikke fractie na mestscheiding. Om verspreiding van dierziekten tegen te gaan is er in 2011 de Europese verordening (EG) 142/2011 uitgebracht die eisen stelt aan de export van dierlijke bijproducten (3). Hierin staat dat mest, met uitzondering van pluimvee- en paardenmest, voor export moet worden gehygiëniseerd, tenzij toestemming is verleend door het ontvangende land. Voor deze hygiëniseringsmaatregel dient de mest een warmtebehandeling te ondergaan waarbij de mest tenminste 60 minuten wordt verwarmd tot minimaal 70°C, of andere gelijkwaardige behandeling ondergaan die volgens bijlage XI van de bovenstaande verordening is gevalideerd.

In de praktijk worden technieken zoals warmtevizels, stoomdrogers en compostering in tunnels en roterende trommeltechnieken toegepast (4, 5, 6, 7). Met name de composteringstechnieken zijn de afgelopen jaren populairder geworden doordat de benodigde warmte bij deze technieken wordt verkregen door het stimuleren van de metabole activiteit van de micro-organismen in de mest, hierdoor zijn de operationele kosten in vergelijking tot de overige technieken relatief laag (5, 6). Uit onderzoek blijkt dat de temperatuur bij gebruik van de composteringstechnieken, afhankelijk van de lokale omstandigheden, lager kan zijn dan de voorgeschreven 70°C (6). Echter, doordat er gebruik wordt gemaakt van een langere tijdsduur, bijvoorbeeld 24 uur, wordt alsnog voldoende afdoening van pathogene organismen gerealiseerd. Hierdoor is het mogelijk om van de NVWA toestemming te verkrijgen om deze technieken in te zetten voor het hygiëniseren van mest.

Het toepassen van de hierboven genoemde hygiëniseringsstechnieken werkt kostenverhogend, hierdoor bestaat de kans op frauderen met hygiëniseringsmaatregelen van mest. Dit zou plaats kunnen vinden door op papier aan te geven dat de mest is gehygiëniseerd, terwijl deze in werkelijkheid niet of onvoldoende is bewerkt. Om te controleren of deze hygiëniseringsmaatregel inderdaad door bedrijven wordt toegepast, kan door de NVWA steekproefsgewijs een monster genomen worden en deze aan een laboratorium aangeboden ter analyse op de aanwezigheid van micro-organismen volgens NEN-EN-ISO 7218:2007/A1:2014-04 en te beoordelen volgens (EG) 142/2011 (3, 8). Deze manier van analyseren is relatief omslachtig en daarnaast duurt het een aantal dagen voor de uitslag bekend is. Hierdoor is deze manier van controleren in de praktijk moeizaam toepasbaar om lid op stuk beleid te geven.

Een potentieel alternatief voor de toepassing van de microbiologische testen is het gebruik van nabij-infrarood spectroscopie (NIRS). Het gebruik van NIRS-technologie is sterk in opkomst en wordt al breed toegepast binnen o.a. de voedingsindustrie. NIRS is uitermate geschikt voor het monitoren van productkwaliteit en de bepaling van nutriëntensamenstellingen. In voorgaand onderzoek is al aangetoond dat NIRS kan worden toegepast voor de bepaling van stikstof (N), fosfor (P), kalium (K), magnesium, organisch materiaal, droge stof gehalte in mest (9, 10, 11). Inmiddels is er NIRS apparatuur commercieel beschikbaar voor de bepaling van de nutriëntensamenstelling van mest (12). NIRS is ook geschikt om verschillen en veranderingen in samenstelling en structuur te detecteren, dat maakt NIRS mogelijk geschikt voor hygiëniseringsbepaling van mest.

Het grote voordeel van NIRS ten opzichte van de microbiologische testen is dat NIRS ter plaatse door een inspecteur kan worden uitgevoerd met gebruik van een handheld NIRS-scanner en de resultaten van de analyse direct beschikbaar zijn voor de handhaving. Daarnaast kan er bij het gebruik van NIRS bij de hygiëniseringsbepaling direct een inzicht verkregen worden in de samenstelling van de desbetreffende mest. Doordat NIRS-analyse geringe monstervoorbewerking vereist is de analyse goedkoper en milieuvriendelijker dan de reguliere laboratoriumanalyses.

In dit project is er onderzocht of er met gebruik van handheld NIRS-technologie bepaald kan worden of de dikke fractie runder- en varkensmest verkregen na scheiding, respectievelijk mestcode 13 en 43, is gehygiëniseerd. In dit onderzoek is er gewerkt aan de ontwikkeling van een statistisch model dat gebruikt kan worden om op basis van NIRS-metingen te bepalen of mest al dan niet is gehygiëniseerd. Hierbij is gebruik gemaakt van de handheld Module Mest Analyse (MMA) NIRS meetsysteem, dat tevens geschikt is voor de bepaling van het droge stof, N, P en K in mest (12). Er is in samenwerking met Dynalynx gewerkt aan de ontwikkeling van een goed beveiligd IT-systeem, zodat het systeem door NVWA inspecteurs in gebruik genomen kan worden ten behoeve van handhavings- en opsporingsactiviteiten. Om het gebruik van de NIRS scanner in de praktijk te beoordelen is er een pilot uitgevoerd waarbij de NIRS-scanners onder praktijkomstandigheden door NVWA-inspecteurs zijn beproefd.

Tussentijds zijn de uitgangspunten en de globale aanpak van dit project in internationaal verband voor het voetlicht gebracht (21, 22).

2 Materialen en methoden

2.1 Bepaling van de samenstelling van de mestmonsters

In dit onderzoek is er gebruik gemaakt van in totaal 53 mestmonsters van de dikke fractie runder- en varkensmest na scheiding, respectievelijk mestcode 13 en 43, die door WFSR uit de praktijk verkregen zijn. In Tabel 1, staat het aantal en soort mestmonsters dat voor elk onderdeel van het onderzoek gebruikt zijn. De monsters zijn buiten de tijd dat ze in gebruik waren bij de experimenten opgeslagen bij 4°C.

Tabel 1 De varkens- en rundermestmonsters die per projectonderdeel gebruikt zijn.

Jaar	MC13	MC43	NIRS systeem	Toepassing
2016	17	13	MicroNIR On-site ES	Initieel onderzoek
2017	0	5	Dynalynx MMA scanner	Warmteoverdracht
2018	5	8	Dynalynx MMA scanner	Model voor Dynalynx scanner
2019	0	5	Dynalynx MMA scanner	Pilot

Voor het opstellen van een accuraat NIRS model is het van belang dat referentiemonsters een goede afspiegeling zijn van de mestsoorten die in praktijk aanwezig zijn. Om te controleren of de selectie aan mestmonsters een representatief beeld geeft, is de samenstelling van de monsters bepaald en vergeleken met stikstof en fosfor concentraties die in de praktijk voor mesttransporten bepaald zijn. De samenstelling van de mestmonsters is bepaald door uitvoering van de onderstaande NEN-normen.

Tabel 2 De toegepaste NEN-normen voor de bepaling van de mestsamenstelling van de mestmonsters.

Bepaling	Monstervoorbewerking	Analysemethode	Uitgedrukt in g/kg
Totaal stikstof	NEN 7431:1998 & NEN 7433:1998	NEN 7434:1998	N
Totaal fosfor	NEN 7431:1998 & NEN 7433:1998	NEN 7435:1998	P ₂ O ₅
Droge stof	NEN 7431:1998	NEN 7432:1998	DS
Organische stof	NEN 7431:1998	NEN 7432:1998	OS
Kalium	NEN 7431:1998 & NEN 7433:1998	NEN 7436:1998	K ₂ O
Ammonium	NEN 7431:1998	NEN 7438:1998	N-NH ₄ ⁺

2.2 Bereiding van gehygiëniseerde mestmonsters

Gehygiëniseerde mestmonsters zijn op het laboratorium verkregen door een gedeelte van de ingezamelde vers gescheiden mestmonsters te hygiëniseren. De hygiënisatie is uitgevoerd door verwarming van de mest gedurende 60 minuten op ten minste 70°C. Dit is in eerste instantie uitgevoerd door de mest in een 50 ml afgesloten Greinerbuis te verwarmen in stoof, die was ingesteld op 75°. In een later stadium is de overstap gemaakt om de mest in een afgesloten polyethyleen zak te verwarmen in een warm waterbad, om zodoende een homogener warmteoverdracht te verkrijgen. Er is gebruik gemaakt van een datalogger, type: PCE-T 200W, serienr: S/N P65099 en S/N P65104 (13), om te controleren of de mest daadwerkelijk gedurende één uur op ten minste 70°C is verwarmd.

2.3 Acquisitie van de NIR spectra

Met gebruik van de MicroNIR ES On-site is er onderzocht of er met handhield NIRS-systemen bepaald kan worden of de dikke fractie varkens- en rundermest na mestscheiding hygiëniserend heeft ondergaan, zie Figuur 1. Dit systeem wordt aangestuurd met gebruik van de MicroNIR Pro 2.2 Android applicatie (14).



Figuur 1 De MicroNIR On-site scanner (14).

De acquisitie van de NIR spectra is uitgevoerd door in diffuse reflectiemodus 100 scans te meten over een golflengtebereik van 908 - 1676 nm, integratietijd van 9.2 ms en een oplossend vermogen van ca. 6 nm. Van elk van de in 2016 ingezamelde monsters zijn, op kamertemperatuur, tien spectra opgenomen op willekeurige locaties op het oppervlak van het mestmonster. De dataverwerking staat beschreven in hoofdstuk 2.4.

Tijdens dit onderzoek is de MMA scanner van Dynalynx in ogenschouw gekomen. Dit is een NIRS systeem dat in de markt is gebracht voor de bepaling van de nutriënten samenstelling (N, K, P en droge stof) van varkens en rundveemest. Daarnaast worden bij elke meting de GPS coördinaten van de scanner geregistreerd. Aangezien deze functies zeer wenselijk zijn voor het gebruik door mestinspecteurs, is er besloten het concept voor de hygiënisatiebepaling verder te ontwikkelen als aanvullende functie voor de MMA scanner, zie Figuur 2. Bij de NIRS metingen met dit systeem worden de spectra verkregen op basis van metingen over een golflengtebereik van 902 tot 1701 nm met een oplossend vermogen van circa 5 nm.



Figuur 2 De handhield NIRS MMA scanner (12).

De ontwikkeling van een model voor hygiënisatie bepaling is uitgevoerd door WFSR. Voor de ontwikkeling van dit model zijn er van alle monsters 10 NIR spectra gemeten. Deze metingen zijn uitgevoerd op kamertemperatuur op willekeurige locaties op het oppervlak van het monster. De acquisitie van 10 spectra is herhaald na één en 4 dag(en) tussentijdse opslag bij 4°C. Voor het gebruik van de MMA scanner is een praktisch handleiding geschreven, zie Bijlage 1.

2.4 Ontwikkeling van het statistische model

De interpretatie van NIRS data vereist doorgaans de toepassing van multivariate statistiek in verband met de complexiteit van de spectra. De NIRS spectra bevatten naast de gezochte spectrale verschillen vanwege de hygiëniseringsproces ook informatie over de (macro)chemische samenstelling (en diersoort), die normaliter de gezochte verschillen zou overschaduwen. In de onderstaande paragrafen 2.4.1 t/m 2.4.3 staan de statistische methoden beschreven die zijn toegepast voor de verwerking van de verkregen NIR spectra. Vervolgens staat er in paragrafen 2.4.4 en 2.4.5 beschreven hoe deze methoden zijn toegepast voor de verwerking van de NIR spectra van de MicroNIR en MMA scanner tot een statistisch model voor de hygiëniserings bepaling van mest.

2.4.1 Partial Least Squares Discriminant Analysis (PLS-DA) en Principle Component Analysis (PCA)

Zowel PCA als PLS-DA zijn methoden om multivariate data met een gereduceerd aantal variabelen, genaamd principale componenten, te beschrijven. Bij PCA wordt de data gereduceerd tot een aantal onafhankelijke principale componenten die zo veel mogelijk van de variantie binnen de dataset beschrijven onafhankelijk van de groep (gehygiëniseerd of niet-gehygiëniseerd) waartoe de data behoort (15). Deze principale componenten kunnen vervolgens in een grafiek weergegeven worden om de verschillen in de dataset te visualiseren. Bij PLS-DA daarentegen worden de principale componenten bepaald op basis van de richting van de maximale covariantie tussen dataset en bijbehorende classificatie (16). Bij PLS-DA wordt er daardoor ook wel gesproken over een "supervised methode", omdat de gewenste classificatie wordt meegewogen bij het berekenen van de model parameters.

2.4.2 Feedforward Neural Networks

Feedforward Neural Networks is een classificatie algoritme dat is geïnspireerd op de werking van de hersenen. Hierbij worden de uitslagen van de verschillende variabelen, in geval van NIRS de intensiteiten bij de verschillende golflengten, verwerkt tot een dataset van één of meerdere nodes, dit zijn datapunten die samengesteld zijn uit één of meer van de variabelen. Dit verwerkingsproces wordt, afhankelijk van de structuur van het Feedforward Neural Network, meerdere malen herhaald, waarbij de nieuw gecreëerde nodes als variabelen gebruikt worden. In het geval van dit onderzoek zal dit uiteindelijk leiden tot één waarde die specifiek is voor gehygiëniseerde of niet-gehygiëniseerde mest (19).

2.4.3 Support vector machine (SVM)

Support vector machine (SVM) is een statistisch algoritme dat de kalibratie data in een multidimensionaal vlak weergeeft en vervolgens een scheidingsvlak opstelt tussen de data van verschillende klassen. Dit scheidingsvlak wordt vervolgens gebruikt om data van onbekende monsters te classificeren (20).

2.4.4 Statistisch model: MicroNIR On-site scanner

In dit onderzoek is eerst onderzocht of met hoofdcomponenten analyse (PCA) en Partial Least Squares Discriminant Analysis (PLS-DA) onderscheid gemaakt kan worden tussen de spectra die met de MicroNIR ES On-site zijn verkregen van gehygiëniseerde en de niet-gehygiëniseerde mest.

Voordat deze technieken zijn toegepast, zijn de spectra voorbewerkt door de toepassing van Standard Normal Variate (SNV) transformatie en de 1e afgeleide om te corrigeren voor instrumentele interferenties, zoals basislijn verschuiving en lichtverstrooiing. Vervolgens is er op basis van deze voorbewerkte spectra het golflengtebereik geselecteerd, van 1391-1515 nm, waarin de spectra van gehygiëniseerde en niet-gehygiëniseerde mest het meest onderscheid vertonen. Vervolgens zijn PLS-DA scores gebruikt om de berekende verschillen op basis van de spectra in dit golflengtegebied te visualiseren.

2.4.5 Statistisch model: MMA scanner

Naar aanleiding van de resultaten die verkregen zijn met de MicroNIR is het onderzoek voortgezet met de MMA scanner. Met de MMA scanner verkregen spectra is een statistisch classificatie model opgesteld voor de bepaling van de hygiëniserings status van de dikke fractie varkens- en rundermest na scheiding. Dit model is ontwikkeld door een brede selectie statistische modellen, combinaties van spectra voorbereidingsmethoden en classificatiemethoden, te vergelijken voor het onderscheiden van spectra van gehygiëniseerde en niet-gehygiëniseerde mest. Deze vergelijking is uitgevoerd door middel van een cross-validatie waarbij de spectra van dezelfde monsters samen zijn gehouden bij samenstelling van de kalibratie- of validatieset. In tegenstelling tot de dataverwerking van de spectra van de MicroNIR, is er gebruik gemaakt van de data over het gehele golflengtebereik, 902 tot 1701 nm. Het gebruiken meer data van de spectra resulteert over het algemeen in een robuustere methode.

De resultaten van deze cross-validatie zijn vergeleken aan de hand van de Area Under the Receiver Operating Characteristic (AUROC) (17). Ter verduidelijking, dit is de oppervlakte onder de grafiek waarbij de true positive rate is uitgezet tegen de false positive rate van de cross-validatie uitslagen wanneer de waarde van de beslisgrens wordt gevarieerd. De AUROC kan gebruikt worden als maat om het onderscheidend vermogen van methoden uit te drukken. Hoe verder de AUROC waarde van 0,5 af ligt, des te beter het model onderscheid maakt tussen de twee groepen. Naar aanleiding van deze cross-validatie zijn drie modellen geselecteerd voor het opzetten van het uiteindelijke classificatiemodel, deze staan weergegeven in Tabel 3. Bij elke NIRS bepaling wordt door deze drie modellen individueel de waarschijnlijkheid berekend dat de mest is gehygiëniseerd. Vervolgens wordt er op basis van de gemiddelde waarschijnlijkheid gerapporteerd of de mest is gehygiëniseerd. Voor de toepassing van statistische bewerkingen en het opzetten van het uiteindelijke model is gebruik gemaakt van de programmeer software R (18).

Zowel Feedforward Neural Networks, SVM en PLS-DA zijn supervised kalibratiemethoden, dit houdt in dat deze de kalibratie uitvoeren met de voorkennis over de groep waartoe de kalibratiemonsters behoren. Bij supervised kalibratiemethoden is de classificatie van kalibratiemonsters normaliter over-optimistisch, en de resultaten daaruit zijn dan ook minder geschikt om de prestatie van het betreffende model te beoordelen. Om een betrouwbare kalibratie voor deze technieken te verkrijgen is het van groot belang dat er een grote hoeveelheid kalibratie data gebruikt wordt dat afkomstig is van een brede selectie aan monsters, en dat er minimaal een cross-validatie wordt uitgevoerd, waarin een aantal monsters apart worden gehouden van de kalibratieset en vervolgens worden voorspeld.

Tabel 3 De spectra voorbereiding en de statistische methode die per individueel model worden toegepast.

Model	Spectra voorbereiding	Statistische methode
1	SNV & 1 ^e afgeleide	PLS-DA
2	1 ^e afgeleide	SVM
3	1 ^e afgeleide	Feedforward Neural Networks

2.5 Ontwikkeling van de data infrastructuur

In samenwerking Facilitair Bedrijf-IT (FB-IT) van Wageningen University & Research centre (WUR) en Dynalynx is er een IT-omgeving opgezet voor het gebruik van de MMA scanner. FB-IT heeft een gedeelte van de WUR server beschikbaar gesteld voor het model voor de hygiëniserings bepaling, dataopslag en communicatie van de applicatie met de Dyanlynx server. Dyanlynx heeft het model voor de samenstellingsbepaling, de applicatie voor de aansturing van de MMA scanner en Application Programming Interface (API) ontwikkeld. WFSR heeft het model voor de hygiëniserings bepaling ontwikkeld en opgezet zodat deze zelfstandig kan functioneren binnen de opgestelde API op de WUR server.

Bij het opzetten van het IT-systeem is er rekening gehouden met de veiligheidseisen die nodig zijn om NIRS toepasbaar te maken voor handhaving door NVWA inspecteurs, daarbij is het van groot belang dat de integriteit van de meetresultaten gewaarborgd is en niet beïnvloed kunnen worden door derden.

2.6 Pilot NIRS scanners

Om de betrouwbaarheid van de NIRS-apparatuur en het ontwikkelde model te bepalen en de kalibratie van individuele statistische modellen te verbeteren is het essentieel dat de apparatuur in de praktijk wordt toegepast. Hierbij is het van belang dat microbiologisch onderzoek wordt uitgevoerd om met zekerheid vast te stellen of de mest is gehygiëniseerd.

In maart 2019 is een pilot van start gegaan voor het testen van de NIRS-apparatuur in de praktijk. Voor deze pilot zijn 5 handheld MMA scanners door de NVWA aangeschaft ten behoeve van haar inspecteurs. Deze MMA scanners bepalen de samenstelling van de dikke fractie varkens- en rundermest en daarnaast geven ze ook een voorspelling of de mest is gehygiëniseerd. De samenstelling, N, P, K en drogestofgehalte wordt bepaald aan de hand van de door Dyanlynx ontwikkelde software en of de mest gehygiëniseerd is wordt bepaald met de door WFSR ontwikkelde software.

De scanners zijn ter hand gesteld aan drie meststoffen inspecteurs en twee dierlijke bijproducten (DBP)-inspecteurs van de NVWA. Deze instructeurs hebben een instructie en een handleiding gekregen voor het gebruik van de scanner en de uitvoering van steriele monsternamen, zie Bijlage 1 en 2. De steriele monsternamen is van belang, zodat er nog microbiologische onderzoek uitgevoerd kan worden.

Twee maanden na aanvang van de pilot is er een terugkomdag georganiseerd waarbij het juist functioneren van de apparatuur en correcte uitvoering van de NIRS-analyse door de inspecteurs is gecontroleerd.

Gedurende de pilot zijn er door de inspecteurs van 5 mestbronnen, 5 deelmonsters ingezameld. Op deze monsters is door de inspecteurs een NIRS-meting uitgevoerd en vervolgens zijn de monsters naar het WFSR verstuurd. Na ontvangst van de monsters door WFSR zijn de monsters nogmaals in duplo gemeten met de handheld NIRS scanner. Daarnaast is er binnen 48 uur na monsternamen een microbiologische bepaling op deze monsters uitgevoerd volgens NEN-EN-ISO 7218:2007/A1:2014-04 en is op basis van de in verordening (EG) 142/2011, bijlage XI, hoofdstuk 1, geldende normen bepaald of de mest is gehygiëniseerd. De normen die in verordening (EG) 142/2011 zijn opgenomen staan in de onderstaande tabel weergegeven.

Tabel 4 Normen waar gehygiëniseerde mest volgens verordening 142/2011 aan moet voldoen.

Bacteriesoort	Monster (g)	n	m	M	c
Salmonella	25	5	0	0	0
E. coli	1	5	0	1000	5

n = aantal te testen monsters;

m = drempelwaarde voor het aantal bacteriën; het resultaat wordt als bevredigend beschouwd als het aantal bacteriën in geen enkel monster groter is dan m;

M = maximumwaarde voor het aantal bacteriën; het resultaat wordt als onbevredigend beschouwd als het aantal bacteriën in een of meer monsters gelijk aan of groter dan M is;

c = aantal monsters waarvoor de bacterietelling een resultaat tussen m en M te zien mag geven en waarbij het monster nog als aanvaardbaar wordt beschouwd als het resultaat van de bacterietelling voor de overige monsters niet groter dan m is.

Vervolgens zijn de monsters volgens de in hoofdstuk 2.2. beschreven methode gehygiëniseerd en na het afkoelen van de monsters nogmaals geanalyseerd met de handheld NIRS scanner.

Naderhand, in februari 2020, is er een evaluatie uitgevoerd door het afnemen van een enquête onder de betrokken inspecteurs om peilen hoe zij het gebruik van de NIRS scanners hebben ervaren.

3 Resultaten & Discussie

3.1 Samenstelling van de kalibratiemonsters

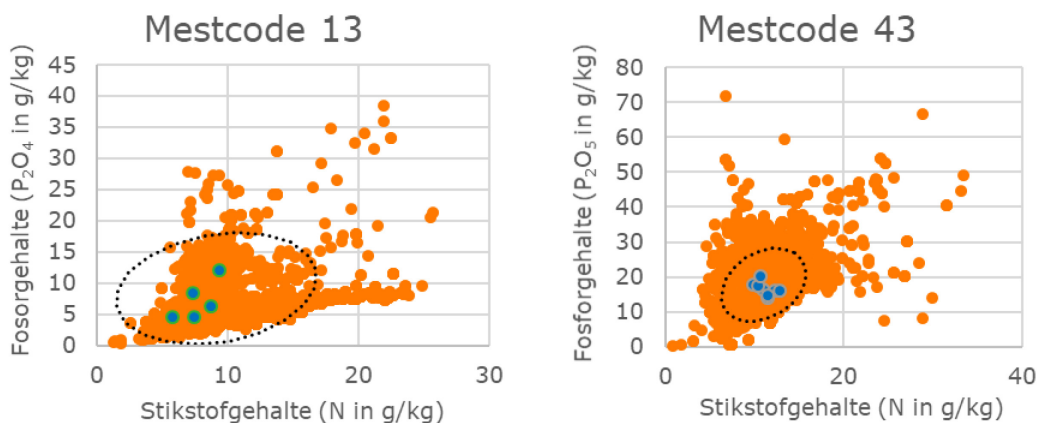
De in het laboratorium bepaalde samenstelling van mestmonsters die gebruikt zijn voor de ontwikkeling van het model voor de hygiënisatie bepaling staan samengevat in Tabel 5. Een compleet overzicht inclusief de samenstelling van de overige mestmonsters, is opgenomen in Bijlage 3. Het gemeten stikstof- en fosforgehalte in de referentiemonsters staat, samen met een afspiegeling van de concentraties die gedurende 2018 en 2019 met laboratorium analyses voor mesttransporten zijn bepaald, weergegeven in Figuur 3.

Om een beter inzicht te geven van de concentraties die in de praktijk voorkomen is er in deze figuur een 95% betrouwbaarheidsinterval weergegeven. Dit betrouwbaarheidsinterval is gebaseerd op basis van de eigenwaarden en eigenvectoren van de covariantiematrix van de op vrachtniveau bepaalde stikstof- en fosforgehalten. Daarnaast gaat deze betrouwbaarheidsellips uit van een normaal verdeling van het aantal vrachten ten opzichte van de concentraties in de vrachten. Gezien dat uit de praktijk blijkt dat dit niet geheel het geval is dient de ellips alleen om een beter inzicht te geven van de mate van de diversiteit aan stikstof- en fosforgehalten die in de praktijk voor mesttransporten bepaald worden.

Tabel 5 De samenstelling van de kalibratiemonsters die gebruikt zijn voor het opstellen van het NIRS classificatie model.

Samenstelling van de kalibratiemonsters in g/kg						
	Droge stof	Organische stof	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N-NH ₄ ⁺
Mestcode 13						
Gemiddelde	299	246	7,72	7,20	5,44	4,90
Standaarddeviatie	51	52	1,23	2,87	0,80	0,81
Minimum	228	176	5,80	4,51	4,33	3,73
Maximum	349	308	9,31	12,16	6,46	5,82
Aantal	5	5	5	5	5	5
Mestcode 43						
Gemiddelde	293	228	11,27	16,61	4,50	7,52
Standaarddeviatie	27	28	0,95	1,77	0,78	1,50
Minimum	248	182	9,83	13,94	3,70	5,77
Maximum	349	287	12,89	20,10	6,17	9,92
Aantal	8	8	8	8	8	7

Uit Figuur 3 kan gesteld worden dat de kalibratiemonsters op basis van gehalten aan stikstof en fosfor wel een representatief beeld geven van de mest die in de praktijk veel voorkomt. De figuur geeft echter ook aan dat er in de praktijk mest met sterk afwijkende concentraties voorkomt, welke met de huidige set aan kalibratiemonsters momenteel niet vertegenwoordigd wordt. Of het model geschikt is om te bepalen of deze sterk afwijkende mestmonsters zijn gehygiëniseerd kan met de huidige kalibratiemonsters niet worden vastgesteld.

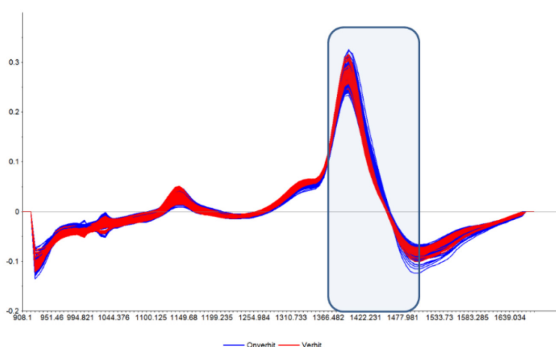


Figuur 3 De stikstof- en fosforgehalten in kalibratiemonsters (●) en de gehalten die representatief zijn voor concentraties die met laboratoriumanalyse voor mesttransporten bepaald worden (●), met een ellipsvormig 95% betrouwbaarheidsinterval uitgaande van een normaalverdeling van het aantal vrachten ten opzichte van de op vrachtniveau bepaalde concentraties.

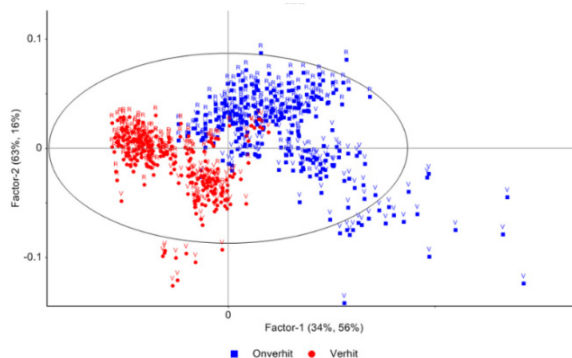
3.2 Het ontwikkelde statistische model

3.2.1 Onderscheiding van gehygiëniseerde en niet-gehygiëniseerde mest met de MicroNIR

Na voorbereiding van de MicroNIR spectra met gebruik van SNV en toepassen van de eerste afgeleide zijn de onderstaande spectra verkregen, zie Figuur 4. In deze spectra is nog geen duidelijk verschil zichtbaar tussen de spectra van onbewerkte en gehygiëniseerde mest. Om de verschillen zichtbaar te maken is er PLS-DA toegepast op het 1391 – 1515 nm golflengtegebied, zie Figuur 5. Een vergroting van deze figuren is opgenomen in Bijlage 4.



Figuur 4 De NIR spectra van gehygiëniseerde (rood) en niet-gehygiëniseerde (blauw) mestmonsters van de dikke fractie varkens- en rundermest na toepassing van SNV en de 1e afgeleide. Op het ingekaderde gebied van het NIR spectrum (1391-1515 nm) is vervolgens PLS-DA toegepast.



Figuur 5 PLS-DA plot van de voorbereikte (SNV, 1^e afgeleide, 1391 – 1515 nm) MicroNIR spectra van de dikke fractie varkens (V) - en rundermest (R) na mestscheiding. Een gedeelte van de mestmonsters is gehygiëniseerd (●) en het andere gedeelte heeft geen hygiënisatie ondergaan (■).

In Figuur 5 staan de tien individuele spectra van de 30 in 2016 ingezamelde monsters weergegeven in het plot van de eerste en tweede factor van het PLS-DA model. Hierin is zichtbaar dat er voor verhitte en onverhitte mest aparte clusters vormen. Daarnaast is het ook zichtbaar dat varkens- en rundermest aparte clusters vormen (zie ook Bijlage 4). Dit geeft aan dat NIRS mogelijk geschikt zou

kunnen zijn om te bepalen of mest wel of geen hygiëniseringsbehandeling door middel van verhitting heeft ondergaan.

3.2.2 Statistisch model voor de hygiëniserings bepaling met de MMA Scanner

Op basis van de cross-validatie zijn drie modellen geselecteerd voor het opzetten van het uiteindelijke model voor de hygiëniserings bepaling, deze staan weergegeven in Tabel 6. In deze tabel staat ook de AUROC waarde (voor uitleg zie paragraaf 2.4.5) van elk individueel model weergegeven. Er zijn drie modellen geselecteerd voor het opzetten van het uiteindelijke classificatiemodel om zodoende de accuraatheid van het model te verhogen. In Bijlage 5 zijn verwijzingen naar aanvullende informatie over het model toegevoegd.

Tabel 6 De geselecteerde modellen voor de hygiëniserings bepaling met de bepaalde AUROC waarde voor deze individuele modellen.

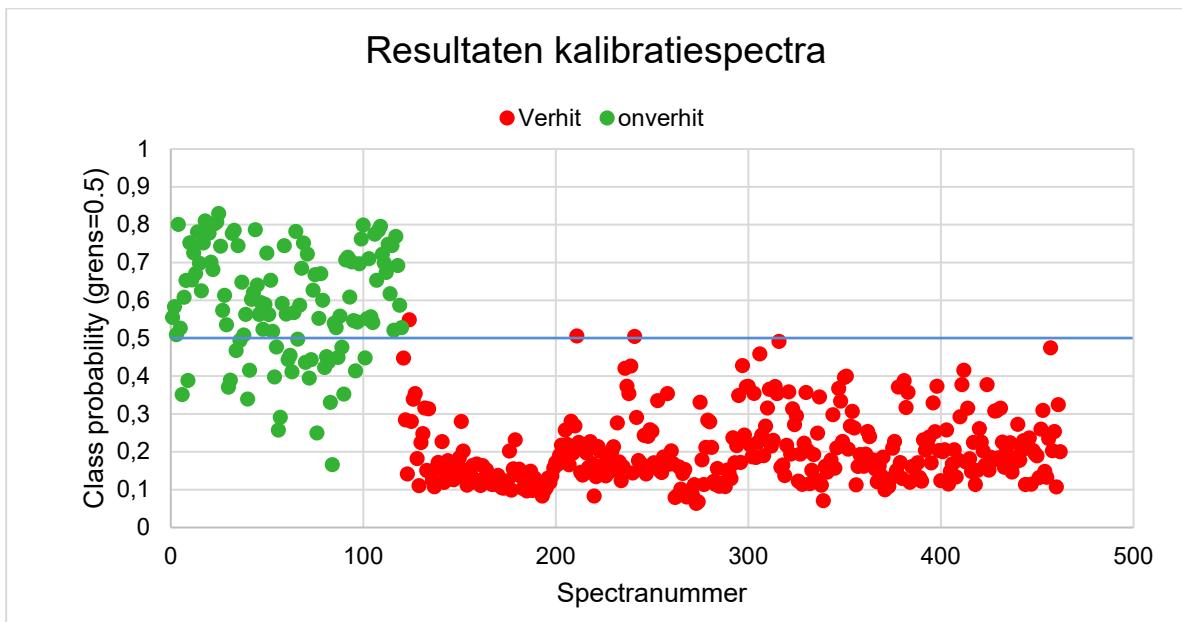
Resultaat cross-validatie		
Model		AUROC
1	PLS-DA op basis van 6 componenten (SNV, 1e afgeleide)	0,71
2	SVM (1e afgeleide)	0,88
3	Feedforward Neural Networks (1e afgeleide)	0,66

De accuraatheid van het model is berekend op basis van de cross-validatie resultaten en staat weergegeven in Tabel 7. Uit deze waarden blijkt dat het model momenteel een grove inschatting kan maken of mest is gehygiëniseerd. Om de accuraatheid van het model te verhogen zal de kalibratie van het model moeten worden verbeterd. Dit kan mogelijk bereikt worden door het aantal spectra dat gebruikt wordt voor de kalibratie uit te breiden, met spectra van mest van diverse samenstellingen die geanalyseerd onder diverse omgevingsomstandigheden.

Tabel 7 De accuraatheid van het model op basis van de cross-validatie.

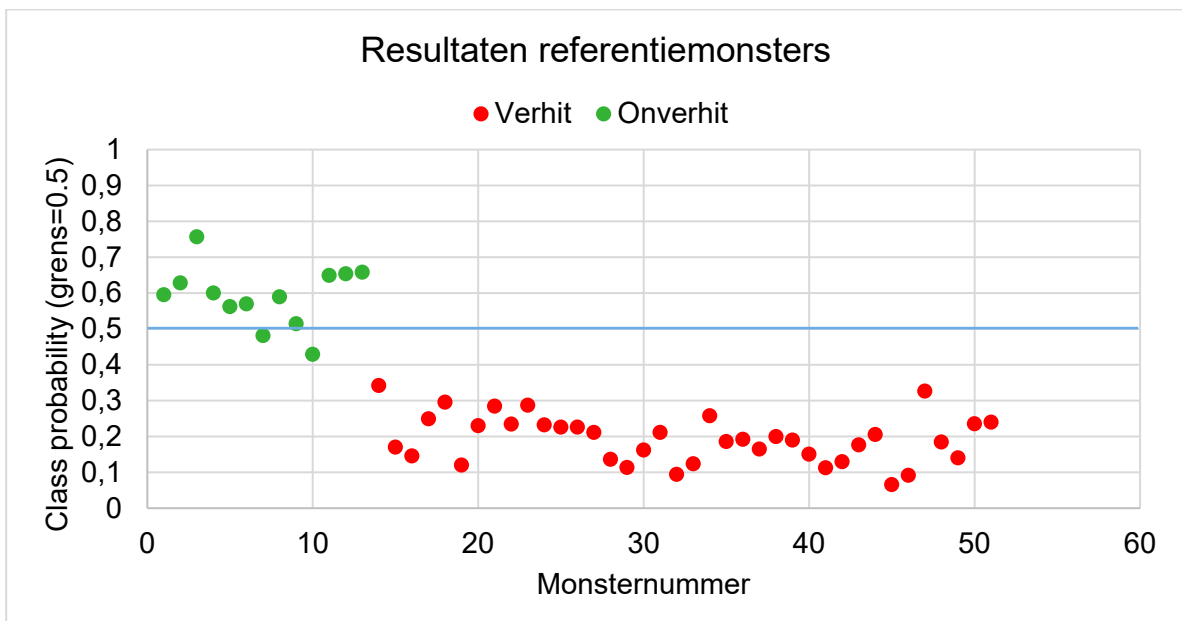
	Correct geclassificeerd
Verhit	84,6%
Onverhit	71,8%
Overall	75%

Als het model wordt toegepast op de referentiespectra, resulteert dat in de uitslagen die in Figuur 6 staan weergegeven. In deze figuur zijn spectra met non numerieke data, spectra zonder variantie in de intensiteit en spectra met een absorptie buiten -1 en 4 weggelaten. Bij de interpretatie van deze uitslagen is het belangrijk om te realiseren dat deze data ook gebruikt is voor de ontwikkeling van de modellen. Daarnaast zijn de geselecteerde modellen supervised methoden, dit houdt in dat deze methoden de kalibratie uitvoeren met voorkennis of de monsters zijn gehygiëniseerd. Hierdoor zal de classificatie van de kalibratiemonsters een doorgaans betere scheiding tussen de groepen geven dan met onafhankelijke monsters.



Figuur 6 De classificatie van de kalibratiespectra volgens het opgezette model met y-waarde 1 = zeker onverhit; 0 = zeker verhit en de blauwe lijn als ingestelde grenswaarde voor de classificatie.

Momenteel is de grenswaarde van 0,5 gekozen voor het model. Dit houdt in dat monsters waarvoor de waarschijnlijkheid wordt vastgesteld $< 0,5$, door de scanner worden gerapporteerd als gehygiëniseerde mest. In de Figuur 6 is duidelijk zichtbaar dat een gedeelte van de referentiespectra niet correct wordt geclassificeerd. Zoals ook uit de waarden voor de accuraatheid van het model in Tabel 7 blijkt, zijn dit bij huidige grenswaarde voornamelijk spectra van onbewerkte mest. In Figuur 7 staat in plaats van de individuele spectra het gemiddelde classificatieresultaat per monster weergegeven. De spectra die één en 4 dagen na het hygiëniseren zijn gemeten zijn als aparte gemiddelden weergegeven. In deze figuur is zichtbaar dat er op basis van de het gemiddelde van 10 spectra een beter onderscheid gemaakt kan worden tussen gehygiëniseerde en niet-gehygiëniseerde mest. Daarnaast zou in dit geval een verlegging van de grenswaarde van 0,5 naar 0,4 een verbetering van classificatie opleveren.



Figuur 7 De classificatie van de kalibratiemonsters volgens het opgezette model met y-waarde 1 = zeker onverhit; 0 = zeker verhit en de blauwe lijn als ingestelde grenswaarde voor de classificatie.

De gemiddelde uitslag voor de referentie metingen is 0,59 voor de niet-gehygiëniseerde en 0,23 voor gehygiëniseerde mest. Op basis van de individuele spectra is de gepoolde standaarddeviatie berekend ter indicatie van de precisie van de hygiëniserings bepaling. De gepoolde standaarddeviatie bedraagt 0,13 voor de niet-gehygiëniseerde en 0,08 voor gehygiëniseerde mest. Dit resulteert bij een bepaling op basis van het gemiddelde van een duplo meting met 95% betrouwbaarheid in een afwijking binnen +/- 0,25 voor niet-gehygiëniseerde en +/- 0,15 gehygiëniseerde mest van de classificatie waarde. Dit laat zien dat de nauwkeurigheid voor individuele metingen nog vrij groot is, dit waarneembaar in Figuur 6 waarin de spreiding van de individuele metingen zichtbaar is.

Echter in het geval van Figuur 7 zijn er 10 metingen gebruikt voor de hygiëniserings bepaling. Hierdoor is de precisie van de classificatie sterk verbeterd, resulterend in een betere scheiding van de groepen. Dit geeft aan dat het gebruik van meerdere metingen/spectra van belang is om een goede correcte voorspelling van de hygiëniserings van de mest te doen.

De kalibratiemonsters die zijn gebruikt voor dit onderzoek zijn op identieke wijze gehygiëniseerd door verwarming in een warmwaterbad. In de praktijk zijn er verschillende technieken die worden toegepast om mest te hygiëniseren, hierdoor wordt er bij deze metingen een grotere variantie tussen de uitslagen van onafhankelijke metingen verwacht.

De experimenten die hier beschreven zijn moeten dan ook worden gezien als een *proof of concept*. De resultaten zijn goed genoeg om aan te kunnen aannemen dat de gewenste informatie (verhit of niet) inderdaad via NIRS uit te lezen is. Er is echter een vervolgstap nodig om het model klaar te maken voor de praktijk.

Om het model alsnog voldoende betrouwbaar te maken voor toepassing in de praktijk zal er mogelijk een nieuwe kalibratie uitgevoerd moeten worden met mest, die met de hygiëniserings technieken uit de praktijk is gehygiëniseerd.

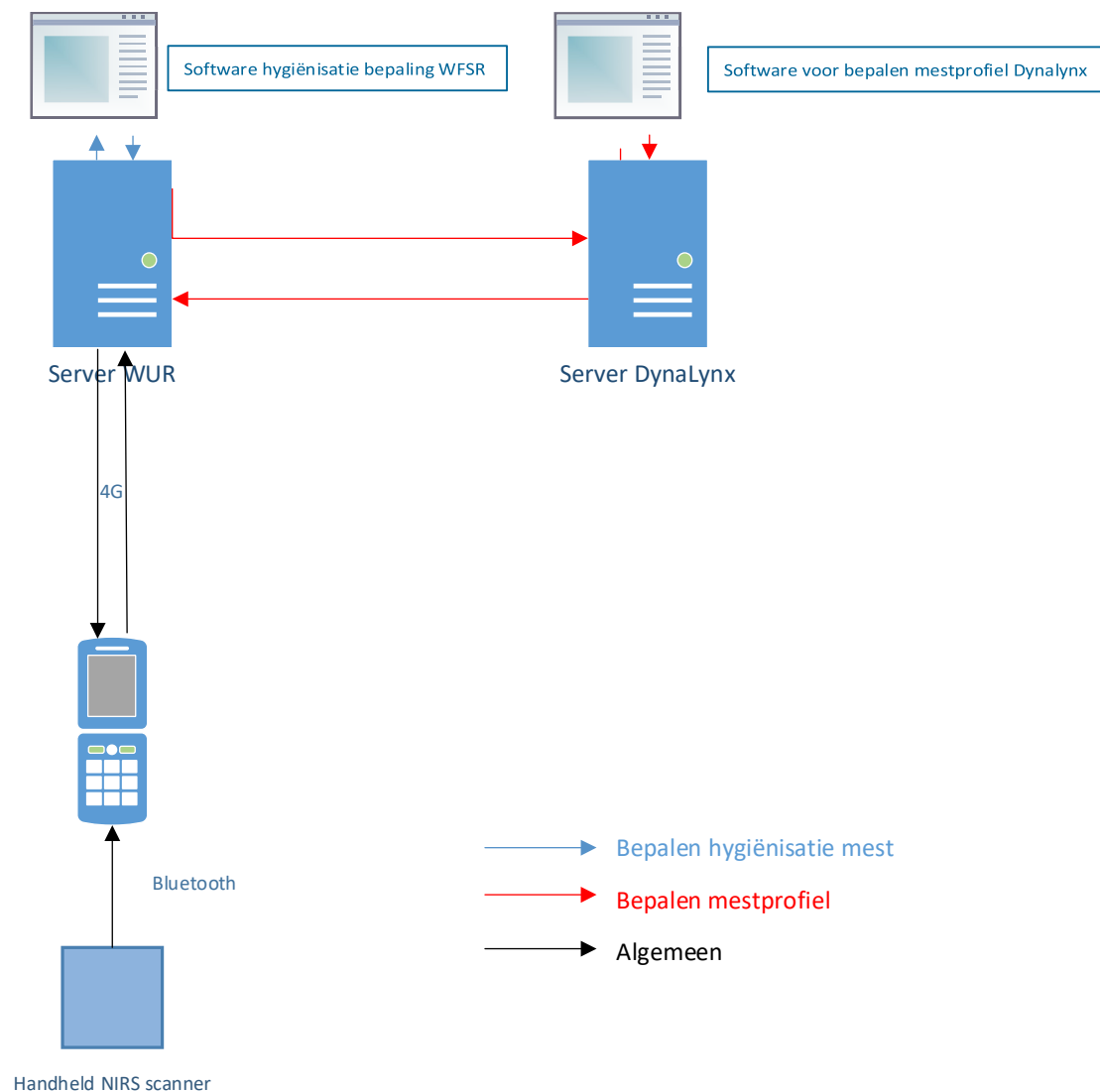
Het aantal monsters dat gebruikt is voor de kalibraties van de huidige statistische modellen is zeer beperkt. Het verbeteren van de kalibratiemodellen door het gebruik van een groter aantal referentiemonsters zal zowel de accuraatheid als precisie van het model sterk verbeteren. Hiervoor moet echter een groot aantal mestmonsters geanalyseerd worden waarvan ook wordt vastgesteld of deze zijn gehygiëniseerd.

Daarnaast is er gekeken of de opslag van monsters bij 4°C gedurende één dag en gedurende 4 dagen effect heeft op de hygiëniserings bepaling met het NIRS model. Er is gemiddeld voor zowel de NIRS bepaling na één dag en na 4 dagen geen afname in de betrouwbaarheid van de classificatie waargenomen, in vergelijking tot het direct meten na het hygiëniseren.

3.3 Het ontwikkelde IT-systeem

Voor de ingebruikname van de MMA scanner in de praktijk, voor zowel de hygiëniserings bepaling door het door WFSR opgestelde model en voor het bepalen van de mest samenstelling met de software van Dyanalynx, is een IT-systeem opgezet. In Figuur 8 staat de data infrastructuur van dit systeem schematisch weergegeven.

De software waarmee de hygiëniserings bepaling wordt uitgevoerd is ontwikkeld door het WFSR met gebruik van het R-pakket "plumber" dat samen met de datafiles via Linux is omgezet in een Dockerfile. Deze Dockerfile wordt gerund als container op het door FB-IT ter beschikking gestelde open container platform. Dit houdt in dat deze Dockerfile fungeert voor het geautomatiseerd ontvangen van de spectrale data, de uitvoering van het R-script en doorsturen van het resultaat naar het door FB-IT beschikbaar gestelde gedeelte op de WUR-server. De aantekeningen die zijn genomen bij het ontwikkelen van het zelfstandig functioneren van het R-script zijn toegevoegd in Bijlage 5.



Figuur 8 Schematische weergave van de datastromen binnen het IT-systeem.

Bij het uitvoeren van een NIRS bepaling moet er eerst verbinding gemaakt worden tussen de MMA scanner en de Android applicatie NutriSpec Micro die geïnstalleerd is op de smartphone van de gebruiker. De NIRS meting wordt gestart door het uitvoeren van een scan met de MMA handheld. Er wordt vervolgens automatisch een melding verstuurd van de MMA scanner naar de NutriSpec Micro applicatie dat er een meting is uitgevoerd. In de applicatie moet de meting door de gebruiker worden aangemeld als referentiemeting of reguliere bepaling. In het geval van een reguliere bepaling moet de mestcode en een identificatiekenmerk van het geanalyseerde monster worden ingevoerd.

Onafhankelijk van het type meting wordt er een tokenaanvraag verzonden naar de WUR server voor de beveiligde overdracht van de data naar de WUR server. De applicatie ontvangt vervolgens van de WUR server een token voor de beveiligde dataoverdracht. Deze token wordt door de applicatie met de metadata (mestcode en kenmerk van het monster) doorgestuurd naar de MMA scanner, welke de data vervolgens versleutelt en terugstuurt naar de NutriSpec Micro applicatie. In het geval van een referentiemeting wordt de meting lokaal opgeslagen en in het geval van een reguliere bepaling wordt de laatste referentiemeting toegevoegd aan de ruwe data en wordt het databestand doorgestuurd naar de WUR-server.

Bij ontvangst van de data door de WUR-server wordt de data gedecodeerd en wordt met de Dockerfile aan de hand van het WFSR ontwikkelde R-script bepaald of de mest is gehygiëniseerd. Daarnaast wordt de ruwe data door de WUR server geanonimiseerd en doorgezonden naar de server van Dyanalynx voor het bepalen van de mest samenstelling. Die resultaten van de Dynalynx server worden terug gestuurd naar de WUR server. Op de WUR server worden deze samengevoegd met de resultaten van de hygiëniseringsbepaling en vervolgens opgeslagen en doorgestuurd naar de NutriSpec Micro applicatie, zodat de resultaten door de gebruiker kunnen worden uitgelezen. Meer details en verwijzingen naar relevante bestanden met betrekking tot het systeem zijn opgenomen in Bijlage 5.

Omdat de NIRS scanners na afsluiting van de pilot niet in de praktijk gebruikt worden is de software op de WUR-server tijdelijk buiten werking geplaatst en gearchiveerd. In Bijlage 5 is een verwijzing naar de handleiding en het backup bestand toegevoegd waarmee het IT-gedeelte op de WUR weer geactiveerd kan worden.

3.4 Resultaten pilot NIRS scanners

De pilot heeft geresulteerd in de inzameling van 5 mestmonsters, elk bestaande uit 5 onafhankelijke deelmonsters. Op basis van de door de mestinspecteurs ingegeven beschrijving zijn 3 van de 5 mestmonsters gehygiëniseerde mest. De uitslagen van de op deze monsters uitgevoerde microbiologische laboratorium analyse en NIRS metingen staan in de onderstaande tabel weergegeven.

Tabel 8 De uitslagen van NIRS metingen en microbiologische laboratoriumanalyses die zijn uitgevoerd op mestmonsters die voor de pilot zijn ingezameld.

Soort bepaling	Gehygiëniseerd	Niet-gehygiëniseerd
Op basis van de beschrijving inspecteurs	3	2
NIRS meting inspecteurs	5	0
Microbiologische bepaling	1	4
NIRS meting WFSR	4	1
NIRS meting WFSR - na hygiëniseren in laboratorium	0	5

Ondanks het zeer beperkte aantal monsters dat tijdens de pilot verzameld is, is uit de bovenstaande uitslagen duidelijk dat het model momenteel niet betrouwbaar genoeg is voor de hygiëniseringsbepaling. Het is opmerkelijk dat de mest inspecteurs een andere uitslag uit de NIRS analyse verkrijgen in vergelijking tot de NIRS analyses die uitgevoerd zijn bij het WFSR. Daarnaast is het merkwaardig dat alle monsters na uitvoering van de laboratorium hygiëniseringsbepaling verkeerd door de NIRS scanner worden geclassificeerd. Dit geeft duidelijk aan dat de kalibratie momenteel nog niet voldoet. Een oorzaak hiervan is mogelijk dat omgevingsfactoren, zoals de temperatuur van het monster de NIRS bepaling beïnvloeden. Uitbreiding van de kalibratie met een bredere range aan monsters en meetomstandigheden verdient aanbeveling om het geheel robuuster te maken.

Uit de enquête onder de mestinspecteurs zijn de volgende punten naar voren gekomen:

- De DBP inspecteurs komen te weinig op mest bedrijven waardoor ze onvoldoende analyses kunnen uitvoeren ten behoeve van de pilot. Het verzamelen van monsters blijkt hierdoor niet efficiënt realiseerbaar.
- De mestinspecteurs komen weliswaar vaker op de locaties van erkende mestbewerkers maar ook zij komen maar beperkt toe aan het uitvoeren van analyses voor de pilot en het nemen van monsters.
- De inspecteurs de scanner en de voorgeschreven wijze van bemonstering momenteel nog te arbeidsintensief vinden.
- De DBP inspecteurs nog onvoldoende perspectief zien voor de NIRS apparatuur binnen de huidige wettelijke kaders.

Een knelpunt waarom de NIRS analyse momenteel (nog) als te arbeidsintensief wordt ervaren is dat de analyse tot nu toe nog uitgevoerd moet worden op monsters die volgens het "bemonsteringsprotocol voor microbiologische analyse" (zie Bijlage 2) verpakt zijn. Deze methode voor de monsternamen is momenteel van belang omdat er naast de NIRS analyse ook een microbiologische bepaling uitgevoerd moet worden. Deze laboratorium analyses zijn momenteel nog essentieel voor het verbeteren van de statistische modellen en vaststellen van de betrouwbaarheid van NIRS bepaling. Daarnaast wordt er momenteel nog weinig perspectief gezien voor de NIRS binnen de wettelijke kaders. Zodra het NIRS model voldoende gekalibreerd is kan het in eerste instantie als screeningsmethode ingezet worden. Waarbij monsters die door de NIRS worden geclassificeerd als niet-gehygiëniseerd, naar het laboratorium worden verstuurd voor een microbiologische analyse om definitieve uitslag te bepalen.

4 Conclusies en aanbevelingen

Op basis van het bovenstaand onderzoek kan geconcludeerd worden dat:

- Er met gebruik van NIRS voor de dikke fractie runder- en varkensmest na mestscheiding, respectievelijk mestcode 13 en 43, aangetoond dat er onderscheid gemaakt kan worden tussen mest die wel en geen hygiëniserende behandeling heeft ondergaan.
- Er een statistisch model is ontwikkeld dat, op basis van NIRS spectra, met gebruik van PLS-DA, SVM en Feedforward Neural Networks bepaalt of mest van mestcode 13 en 43 hygiëniserende behandeling heeft ondergaan.
- Het classificatie model voor de hygiëniserende bepaling op basis van de cross-validatie accuraatheid heeft van 75% overall; 84,6% van de gehygiëniseerde en 71,8% van de onbewerkte mest monsters wordt correct geclassificeerd.
- Er een IT-systeem is ontwikkeld om handheld MMA NIRS in gebruik te kunnen nemen voor het uitvoeren van hygiëniserende bepalingen van mest aan de hand van het door WFSR ontwikkelde model en voor de bepaling van de mestsamenstelling (N, P, K en droge stof) door de door Dyanlynx ontwikkelde software.
- Er in samenwerking met Dynalynx een Android applicatie genaamd "NutriSpec Micro" is ontwikkeld die functioneert als onderdeel van de aansturing van het IT-systeem en gebruikt kan worden voor de uitlezing van de analyseresultaten door de gebruiker van de scanner.
- De data-infrastructuur tussen de handheld NIRS scanner, de NutriSpec Micro applicatie en de software voor de resultatenanalyse is beveiligd, zodat de scanner in de praktijk toegepast kan worden door mestinspecteurs.
- Naar aanleiding van een pilot met de NIRS scanners is vastgesteld dat het gebruik van de handheld NIRS momenteel door de inspecteurs nog als te arbeidsintensief wordt ervaren en zij nog onvoldoende perspectief zien voor de toepassing van de hygiëniserende bepaling met NIRS binnen de huidige wettelijke kaders. De voornaamste reden hiervoor is dat de bepaling momenteel nog niet betrouwbaar genoeg is. Dit heeft als gevolg dat de huidige reguliere, arbeidsintensieve, methode van monstername voor microbiologische laboratoriumanalyse nog noodzakelijk is.

Indien het onderzoek wordt voortgezet zijn er op basis van het huidige onderzoek de volgende aanbevelingen:

- Om het model klaar te maken voor de praktijk is het van belang dat de betrouwbaarheid van het model van de hygiëniserende bepaling wordt verbeterd door het gebruik van een groter aantal kalibratiemonsters. Het is hierbij, voor de robuustheid van de methode van belang dat de NIRS metingen in de praktijk worden uitgevoerd op mest van diverse samenstellingen. Dit is van belang om er voor te zorgen dat omgevingsfactoren tijdens het uitvoeren van de NIRS meting, de toegepaste hygiëniserende techniek en de mestsamenstellingen niet de classificatie beïnvloeden.
- Op basis van de analyse van de in het laboratorium geanalyseerde monsters is zichtbaar dat er vrij veel verschil zit tussen de classificatiewaarden (hygiëniserende bepaling) van individuele NIRS metingen van een monster. Het gebruik van meerdere metingen voor de classificatie van het monster is daarom aan te raden voor het verkrijgen van een betrouwbaarder resultaat.
- Dat er een werkwijze wordt afgesproken om systematisch praktijkmonsters te analyseren met NIRS voor het opstellen van een beter kalibratiemodel en evalueren van de betrouwbaarheid van de NIRS analyse. De werkwijze die tijdens de NIRS pilot gehanteerd is resulteert in de inzameling van onvoldoende monsters om dit te kunnen realiseren.

Literatuur

1. Kasper, G. J. & J.H. Horrevorts (2007) Mestexport vanuit Nederland. Animal Sciences Group, Wageningen UR, Rapport 87
2. NCM (2020) Analyse ontwikkelingen mestbalans 2025 – 2030. Geraadpleegd op 5 Januari 2021, via <https://www.mestverwaarding.nl/kenniscentrum/1222/ncm-analyse-mestbalans-2025-en-2030>.
3. Verordening (EU) 142/2011 van 25 februari 2011 tot uitvoering van Verordening nr. 1069/2009 van het Europees Parlement en de Raad tot vastlegging van de gezondheidsvoorschriften inzake niet menselijke consumptie bestemde dierlijke bijproducten en afgeleide producten en tot uitvoering van richtlijn 97/78/EG van de Raad wat betreft bepaalde monsters en producten die vrijgesteld zijn van veterinaire controles aan de grens krachtens die richtlijn.
4. Buisonjé, F. et al. (2013) Inventarisatie emissies en geluidsoverlast van mestbewerkingsinstallaties en eventuele maatregelen, Wageningen UR
5. Starmans, D.A.J., Verdoes N. (2002) Mestverwerking varkenshouderij composteren in roterende trommel, Bouwman te Ysselsteyn. Praktijkonderzoek Veehouderij; No. 9
6. Dijkgraaf, T. (2014) Rendabel mest hygiëniseren op het boerenerf [Scriptie]. Geraadpleegd op 22 Juli 2020, via <https://www.greeni.nl/webopac/MetaDataEditDownload.csp?file=2:127273:1>
7. Buro Blauw (2017) Toetsing geurimmissie concentratie ORGAMEBO te Kapel-Avezaath, rapport BL2017.8468/01-V02. Geraadpleegd op 22 Juli 2020, via <https://bigwobber.nl/wp-content/uploads/osd/20180608/752.pdf>
8. Nederlands Normalisatie-Instituut (2014) Microbiology of food and animal feeding stuffs - General requirements and guidance for microbiological examinations.
9. Han, I., Xing, L. & Chen, L. (2013) Review of the Application of Near-Infrared Spectroscopy Technology to Determine the Chemical Composition of Animal Manure, *Journal of Environmental Quality*. **42**, 1015 - 1028
10. Saeys, W., Mouazen, A.M., Ramon, H. (2005) Potential for Onsite Analysis of Pig Manure Visible Near Infrared Reflectance Spectroscopy, *Biosystems Engineering*, **91**, 393 - 402
11. Rietra, R.P.J.J., Oenema, O. (2017) Bepaling van de samenstelling van vaste mest met NIRS. Wageningen Environmental Research, Wageningen UR, Rapport 2871.
12. SIM Holland (2020) SIM MMA Handheld – SIM Module Mest Analyse Geraadpleegd op 27 mei 2020, via https://www.simholland.nl/agro/mma-sensor-techniek/categorie/sim-module-mest-analyse/sim-mma%25c2%25a9-handheld-_-sim-module-mest-analyse.html
13. PCE (2020) Data logger PCE-T 200W with stainless steel housing. Geraadpleegd op 5 Januari 2021 via <https://www.industrial-needs.com/technical-data/data-logger-pce-t200w.htm>.
14. VIAVI Solutions (2020) MicroNIR 1700ES. Geraadpleegd op 8 juni, 2020, via <https://www.viavisolutions.com/en-us/osp/products/micronir-1700es>
15. Abdi, H., Williams, L. (2010) Principle component analysis. *Wiley Interdisciplinary Reviews Computational Statistics*. **2** (4) 433 - 459
16. Ruiz-Perez, D. et al. (2020) So you think you can PLS-DA, *Florida International University*, doi: 10.1101/207225.
17. Fan, J., Upadhye, S. & Worster, A. (2015) Understanding receiver operating characteristic (ROC) curves, *Canadian Journal Emergency Medicine*. **8**, pp 19 – 20
18. The R Foundation (2020) R version 4.0.2 [Computer software]. Verkregen via <https://www.r-project.org>.
19. Senthikumar, M. (2010) Use of artificial neural networks (ANNs) in colour measurement, *Colour Measurement*, Woodhead Publishing Series in Textiles, pp 125 - 145, doi: 10.1533/9780857090195.1.125
20. Noble, S. William (2006) What is a support vector machine?. *Nature Biotechnology*. **24** (12), 1565 - 1567
21. Derikx, P.J.L., Pustjens, A.M. & Weesepeel, Y.J.A. (2017) Handheld NIR method to distinguish between heated and unheated manure fractions. 64th Abstract from the 17th International Ramiran Conference, Wexford, Ireland
22. Derikx, P.J.L., Heskamp, H. (2019) NIRS application as a screening tool for heat treatment of manure. 40 - 41. Abstract from the ManureResource 2019 conference, Hasselt, Belgium

Bijlage 1 Handleiding gebruik NIR-scanner

Versie 1.0

Handleiding gebruik NIR-scanner

NIR-metingen maken gebruik van nabij infraroodstraling. Die straling dringt niet diep in het monster door. Belangrijk is dat het meetoppervlak zo schoon mogelijk is. Dat geldt voor het venster van de scanner en voor de meetzak. Voorkom vette vingers of vervuiling op die oppervlakken. Het venster van de scanner kan eventueel schoon worden gemaakt met een brillendoekje (niet de papieren vochtige doekjes maar die van zacht textiel zoals je ze bij de opticien kan krijgen).

Afhankelijk van de gewenste analyses wordt een van onderstaande protocollen gevolgd:

- Mestsamenstelling: volg het bemonsteringsprotocol volgens AP06
- Verhittingsverificatie: volg het bemonsteringsprotocol voor steriele monsternamen

Als zowel mestsamenstelling als verhittingsverificatie gewenst is volg dan het protocol voor steriele monsternamen, dit monster kan ook voor de samenstellingsanalyse worden gebruikt

Vorbereiding:

- Zorg dat de scanner en de smartphone voldoende opgeladen zijn
- Breng het monster over in de monsterzak
- Zorg dat monster en scanner op omgevingstemperatuur zijn (10 - 30°C)

Opstarten:

- Zet de scanner aan met de schuifknop aan de onderzijde (groene lamp blijft knipperen)
- Houd de scanknop (zijkant) 4 seconden ingedrukt, na loslaten gaat de blauwe lamp knipperen, bluetooth is nu actief
- Start de NutriSpecs app op je smartphone en controleer of je ingelogd bent
- Verbind de scanner met de smartphone via het keuzemenu linksboven op de app
- Voer een scan uit op het grijze vierkant verpakt in een plastic zak zonder met de vingers aan het meetvlak te komen
- Selecteer "referentiemeting" met de schuifknop op de app rechtsboven
- Kies opslaan op de app rechtsonder, daarna is alles klaar voor de echte metingen

Metingen:

- Voer een scan uit op het, volgens het bemonsteringsprotocol genomen, monster in de monsterzak (oranje lamp gaat branden)
- Kies de overeenkomende mestcode op de app
- Vul het kenmerk in
- Kies "opslaan" op de app rechtsonder
- Desgewenst kun je de detail gegevens van de scan bekijken
- Breng het scannummer over op de monsterzak
- Nu kan een scan op een volgend monster worden uitgevoerd
- De gegevens worden opgeslagen op jouw smartphone voor eigen gebruik en de gegevens worden ook op de WUR-server vastgelegd voor eventueel toekomstig ontwikkelingswerk

Afsluiten:

- Zet de scanner uit met de schuifknop aan de onderzijde (groene en blauwe lamp gaan uit)
- Berg de scanner en het referentievierkant zorgvuldig op voor volgend gebruik
- Breng de gegevens uit de smartphone over naar het betreffende dossier

Vragen:

Neem contact op met Henri Heskamp (0317 481970) of Piet Derikx (0317 481679)

Bijlage 2 Bemonsteringsprotocol voor microbiologische analyse

Versie 1.0

Bemonsteringsprotocol mest voor microbiologische analyse

Algemeen

Per partij mest moeten 5 representatieve monsters worden genomen; verdeel daartoe de te bemonsteren partij mest in 5 sectoren. Elk van de 5 monsters bestaat uit minimaal 4 grepen. Een greep is de hoeveelheid mest die in één handeling genomen kan worden.

Alle voorbereidingen en handelingen moeten gebeuren volgens aseptische technieken en met steriel materiaal om een microbiologische contaminatie via uitwendige bronnen te voorkomen. Bemonsteringsmaterialen en de monsterzakken dienen rein en steriel te zijn. Draag tijdens de bemonstering steriele wegwerphandschoenen of was de handen na het aantrekken van handschoenen met 70% ethanol.

Uitvoering van de bemonstering

1. Verzamel alle benodigdheden (steriele monsterschep in verpakking, gesloten steriele monsterzak, steriele handschoenen en tissues).
2. Trek steriele wegwerphandschoenen aan. (Alternatief: "handschoenen wassen" met 70% ethanol).
3. Open de steriele monsterverpakking van de schep.
4. Open de monsterverpakking door aan beide strips te trekken. Voorkom beroering van de binnenzijde van de zak met de handschoenen.
5. Neem minimaal 4 grepen, van ongeveer dezelfde grootte, uit een segment. Totaal ca. 500 gram monster.
6. Neem de grepen op verschillende dieptes: de helft aan het oppervlak, de helft op minstens 30 cm diepte.
7. Breng elke schep in zijn geheel over in de monsterzak, waarbij alleen de schep de rand van de opening mag beroeren, zie Figuur B2.2.
8. Sluit de monsterzak door die van bovenaf op te rollen en vervolgens de lippen om de zijkant te vouwen. Reinig en desinfecteer de schep.
9. Herhaal de procedure beginnend bij punt 4 tot er vijf onafhankelijke monsters van elk 4 grepen zijn genomen.
10. Voer de NIR scan uit op elk van de vijf onafhankelijke monsters zoals beschreven in de handleiding van de scanner.
11. Breng de monsters over in de koelbox.
12. Na de laatste monsterneming wordt al het afval verzameld en op de daartoe bestemde plaats gedeponneerd. Bij het ontbreken van een dergelijke plek wordt het afval meegenomen en op de thuisbasis gedeponneerd overeenkomstig geldende afspraken.

Monsterconservering en transport:

De monsters worden in de koelbox getransporteerd en voor analyse opgeslagen bij max. 4°C (maar niet lager dan 1 °C). De tijd tussen monsterneming en overdracht aan het laboratorium (WFSR) dient zo kort mogelijk te zijn (max 48 uur). De maximale bewaartermijn van 48 uur van monsters bestemd voor bacteriologische analyses is van toepassing vanaf het tijdstip (datum/uur) van de bemonstering.

Identificatie van de monsters:

De nummering van de monsters moet eenduidig zijn. De volgende informatie moet hetzij op de monsterzak of op een begeleidingsformulier/relaas aanwezig zijn:

- a. Opdrachtgever
- b. Type en soort mest
- c. Monsternemer

- d. Plaats en datum van monstername
- e. NIR scannummer
- f. Gevraagde analyses

Benodigheden:

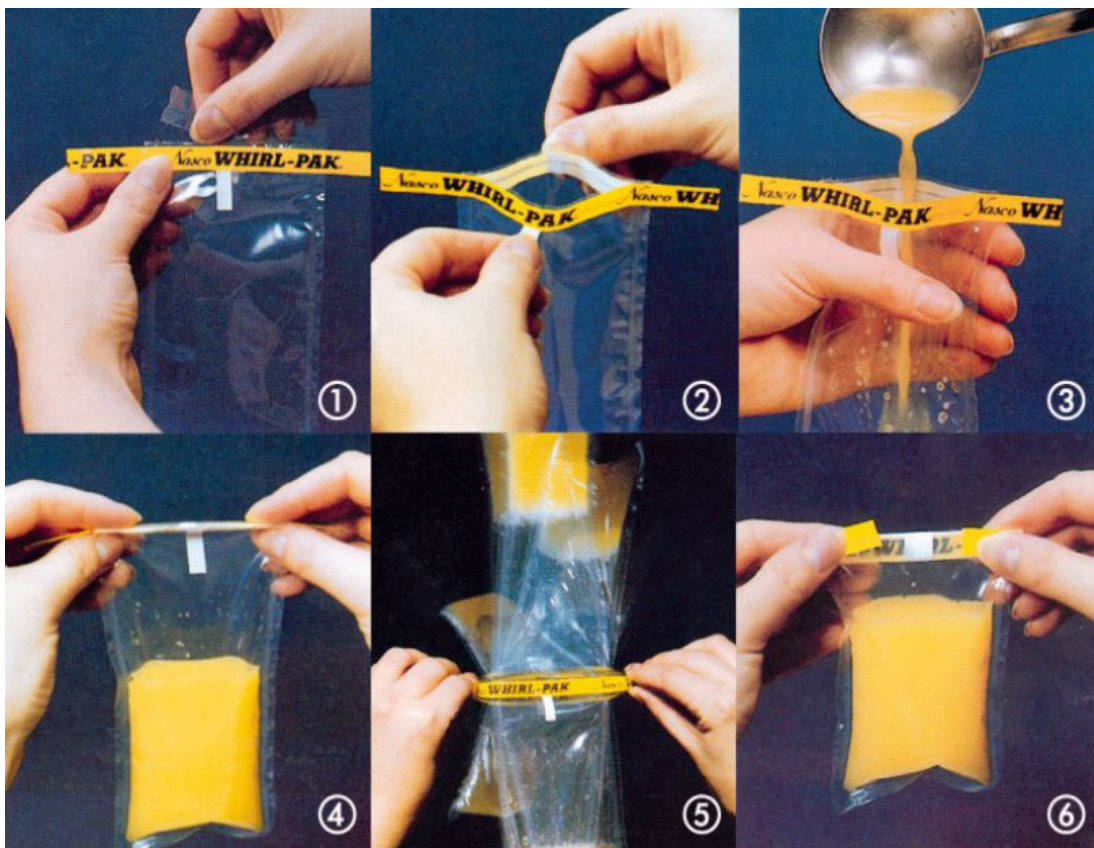
- a. Steriele bemonsteringsschep 100 ml.



Figuur B2.1 Bemonsteringsschep 100 ml.

- b. Steriele handschoenen.
- c. Steriele monsterzakken (2 liter).
- d. Koelbox, in staat om te koelen tot tussen 1 en 4°C, ongeacht de buitentemperatuur.
- e. Absorptiepapier of keukenrol of tissues.
- f. Plastic zakken voor het verzamelen van afval.
- g. Eventueel ontsmettingstissues en/of een 70% ethanol oplossing in een spuitfles.

Gebruik van steriele monsterzakken:



Figuur B2.2 Gebruiksaanwijzing steriele monsterzakken.

Vragen:

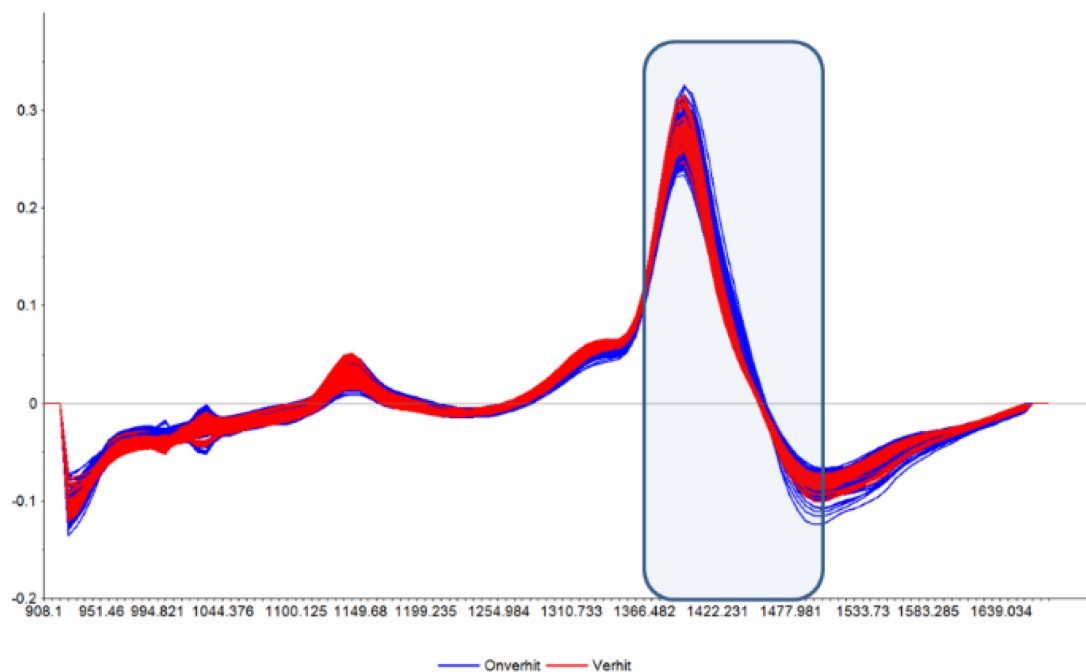
Neem contact op met Henri Heskamp (0317 481970) of Piet Derikx (0317 481679).

Bijlage 3 Nutriënten samenstelling van de referentiemonsters

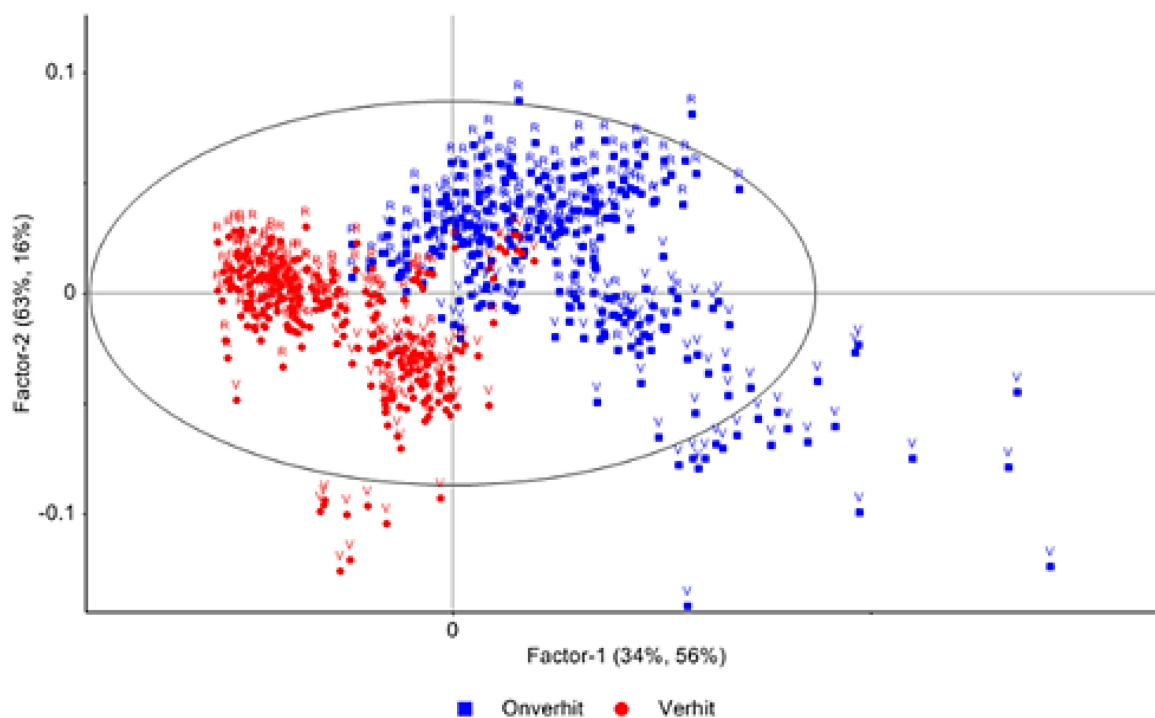
Tabel B3.1 De nutriënten samenstelling van de gebruikte mestmonsters per projectonderdeel uitgedrukt in g/kg.

2016 Onderzoek onderscheiden gehygiëniseerde en niet-gehygiëniseerde mest met de MicroNIR							
		Droge stof	Organische stof	N	P ₂ O ₅		
Mestcode 13	Gemiddelde	285	234	5,61	4,26		
	SD	52	44	0,85	1,69		
	Minimum	210	163	4,84	1,70		
	Maximum	394	320	7,25	7,08		
	n	17	13	17	17		
Mestcode 43	Gemiddelde	339	240	10,03	17,52		
	SD	110	94	2,24	4,84		
	Minimum	243	107	5,54	7,02		
	Maximum	679	404	14,91	25,90		
	n	13	7	13	13		
Mestcode 13 & 43	Gemiddelde	308	236	7,52	10,00		
	SD	85	63	2,72	7,48		
	Minimum	210	107	4,84	1,70		
	Maximum	679	404	14,91	25,90		
	n	30	20	30	30		
2017 Onderzoek warmteoverdracht							
Mestcode 43	Gemiddelde	309	233	11,64	18,08		
	SD	24	22	1,42	1,28		
	Minimum	270	196	10,02	16,91		
	Maximum	329	252	13,29	20,10		
	n	5	5	5	5		
2018 Ontwikkeling van het model voor hygiëniserings bepaling met de MMA scanner							
		Droge stof	Organische stof	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N-NH ₄ ⁺
Mestcode 13	Gemiddelde	299	246	7,72	7,20	5,44	4,90
	SD	57	58	1,37	3,21	0,89	0,91
	Minimum	228	176	5,80	4,51	4,33	3,73
	Maximum	349	308	9,31	12,16	6,46	5,82
	n	5	5	5	5	5	5
Mestcode 43	Gemiddelde	292,5	228	11,27	16,61	4,50	7,52
	SD	28,8	30	1,02	1,90	0,83	1,63
	Minimum	248,0	182	9,83	13,94	3,70	5,77
	Maximum	349,0	287	12,89	20,10	6,17	9,92
	n	8	8	8	8	8	7
Mestcode 13 & 43	Gemiddelde	295	235	9,90	12,99	4,86	6,43
	SD	40	41	2,11	5,31	0,95	1,89
	Minimum	228	176	5,80	4,51	3,70	3,73
	Maximum	349	308	12,89	20,10	6,46	9,92
	n	13	13	13	13	13	12

Bijlage 4 Resultaten MicroNIR



Figuur B4.1 De NIR spectra van de gehygiëniseerde (rood) en niet-gehygiëniseerde (blauw) van de dikke fractie varkens- en rundermest na toepassing van SNV en de 1e afgeleide. Op het ingekaderde gebied van het NIR spectrum (1391-1515 nm) is vervolgens PLS-DA toegepast.



Figuur B4.2 PLS-DA plot van de voorbereide (SNV, 1e afgeleide, 1391 - 1515 nm) MicroNIR spectra van de dikke fractie varkens (V) - en rundermest (R) na mestscheiding, R en V respectievelijk. Een gedeelte van de mestmonsters is gehygiëniseerd (●) en het andere gedeelte heeft geen hygiëniseringsondergaan (■).

Bijlage 5 Aanvullende informatie over het statistische model en de opgezette IT-omgeving

In de onderstaande lijst staan bestanden die aanvullende informatie bieden over het statistische model en IT-systeem dat is opgezet voor het gebruik van de handheld NIRS apparatuur. De onderstaande bestanden zijn terug te vinden in de genoemde directory.

W-schijf: WFSR>BU1>Team_11>>Projects>Mestprojecten<Authenticiteit dierlijke mest_1227291801>Mest Authenticiteit 2020>Bijlage 5 Rapport NIRS verhitte mest

Statistische model van de hygiëniserings bepaling:

- *Mestauthenticiteit.R* (Het model als R-script dat vervolgens is omgezet om te functioneren binnen de API-interface)
- *Cross-validatie model selectie.xlsx* (Resultaten van de cross-validatie)
- *Data for the model and model results.xlsx* (Data van de referentiemonsters en de uitslagen op basis van het model)

IT-omgeving:

- *20190521 API Beschrijving Fase 1 en 2*. (API interface beschrijving van de communicatie tussen de MMA scanner en WUR-server)
- *20200610 Restore handleiding software FB-IT database backup* (Handleiding voor het herstellen van het IT-gedeelte dat aanwezig is op de WUR-server)
- *09062020_OnTheSpot.bak* (Backup van het IT-gedeelte op de WUR-server)
- *20200622 Aantekeningen bij het maken van de container (Aantekeningen die gemaakt zijn bij het geschikt maken van het R-model binnen de API interface)*

Tabel B5.1 Betrokken personen bij opzetten van het IT-systeem.

Taak	Persoon
Relatiemanager	Kevin Kluijtmans
Eigenaar	Robert van Gorcom (Algemeen directeur WFSR)
Functioneel beheer	Piet Derikx
Release coordinator	Dorine Allan (contactpersoon team softwareontwikkeling)
Release coordinator backup	Gerrit Seigers
Technisch applicatie beheer	MDT DM&HS
Ontwikkelaar R-model	Martin Alewijn
Dynalynx	Arjan de Roo (contactpersoon) David Stritzl



Wageningen Food Safety Research
Postbus 230
6700 AE Wageningen
T 0317 48 02 56
www.wur.nl/food-safety-research

WFSR-rapport 2021.003

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research 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 (5.500 fte) en 12.500 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.



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



Wageningen Food Safety Research
Postbus 230
6700 AE Wageningen
T 0317 48 02 56
www.wur.nl/food-safety-research

WFSR-rapport 2021.003

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research 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 (5.500 fte) en 12.500 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.

