



Unieke genetische variatie in een bijzondere Nederlandse rundveestapel met zeldzame kleuren en aftekeningen

Anouk Schurink, Jack Windig, Henk Sulkers, Ina Hulsege, Kor Oldenbroek

CGN Rapport 43



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Unieke genetische variatie in een bijzondere Nederlandse rundveestapel met zeldzame kleuren en aftekeningen

Anouk Schurink¹, Jack Windig¹, Henk Sulkers¹, Ina Hulsege¹, Kor Oldenbroek¹

¹ Centre for Genetic Resources, the Netherlands (CGN) van Wageningen University & Research

Dit onderzoek is uitgevoerd door CGN, in opdracht van en gefinancierd door het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (LNV), in het kader van WOT-03 Genetische Bronnen (projectnummer WOT-03-003-056)

Centre for Genetic Resources, the Netherlands (CGN), Wageningen University & Research
Wageningen, mei 2019

CGN Rapport 43

Schurink, A., J.J. Windig, H. Sulkers, B. Hulsege, J.K. Oldenbroek, 2019. *Unieke genetische variatie in een bijzondere Nederlandse rundveestapel met zeldzame kleuren en aftekeningen*. Centre for Genetic Resources, the Netherlands (CGN), Wageningen University & Research, CGN rapport 43. 29 blz.; 6 fig.; 8 tab.; 5 ref.

Samenvatting NL De veestapel van familie van der Veen bestaat uit ongeveer 40 runderen met de witrik aftekening en de zeldzame kleuren vaal en blauw. Zeldzame kleuren en aftekening die door jarenlange gerichte fokkerij bij elkaar zijn gebracht én in stand zijn gehouden. De bijzondere veestapel van beperkte omvang heeft daarmee unieke combinaties van zeldzame allelen en genotypes. Omdat er geen stamboekgegevens van de runderen zijn, is de genetische achtergrond van de runderen met behulp van DNA onderzoek in kaart gebracht. De veestapel van familie van der Veen clustert niet samen met een enkel oorspronkelijk Nederlands ras en omvat unieke combinaties van rassen en genetische diversiteit. De geobserveerde zeldzame kleuren werden middels DNA onderzoek geverifieerd. Het DNA kwam, op één rund na, overeen met de geobserveerde kleur voor de basiskleur rood/zwart en de aan- of afwezigheid van de vaal kleur. Voor de aftekening witrik en de kleuren blauw en bont konden geen harde uitspraken gedaan worden omdat de daadwerkelijke mutatie niet gegenotypeerd was. Op basis van DNA zijn alle bekende moeder-nakomeling relaties geverifieerd en relaties op basis van DNA inzichtelijk gemaakt. De veestapel bevat unieke combinaties van zeldzame kleuren en aftekeningen en de runderen zijn genetisch uniek. Het is daarom van belang dat de genetische diversiteit van deze veestapel behouden blijft.

Summary UK The herd of van der Veen family consists of about 40 cattle with the color-sided pattern and the rare diluted and roan color. Rare colors and pattern that are brought together through years of targeted breeding and conservation. The exclusive herd of small size therefore has unique combinations of rare alleles and genotypes. Because there are no registration papers present, the genetic make-up of this herd was investigated through DNA analysis. The herd of van der Veen family does not cluster with any one of the local Dutch cattle breeds and therefore consists of unique combinations of breeds and genetic diversity. The observed rare colors were verified through DNA analysis. The DNA, except for one individual, matched the observed color for red/black and the absence or presence of the diluted color. For the color-sided pattern, and the spotted and roan color no conclusions could be made as the mutation itself was not genotyped. Based on DNA all known mother-offspring relationships were verified and DNA also provided insights concerning other relationships between the individuals. The herd consists of unique combinations of rare colors and pattern and the animals are genetically unique. It is therefore important to conserve the genetic diversity within this herd.

Dit rapport is gratis te downloaden op <https://doi.org/10.18174/476297> of op www.wur.nl/cgn onder CGN rapporten.

© 2019 Centre for Genetic Resources, the Netherlands (CGN), Wageningen University & Research
E cgn@wur.nl

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

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt worden door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke wijze dan ook zonder voorafgaande toestemming van de uitgever of auteur.



De certificering volgens ISO 9001 onderstreept ons kwaliteitsniveau.

Inhoud

	Woord vooraf	5
	Samenvatting	7
1	Introductie	9
	1.1 Achtergrond en doel	9
	1.2 Werkwijze	9
	1.3 Beschikbaar onderzoeksmateriaal	10
2	Verwantschap met Nederlandse runderrassen	11
	2.1 Verwantschap tussen runderen	11
	2.2 Indeling naar raspercentage(s)	11
	2.2.1 Uitlichting individuele runderen	12
	2.2.2 Aandeel Fries-Hollands – zwart én rood	12
	2.3 Samenvatting bevindingen verwantschap met Nederlandse runderrassen	13
3	Kleurvererving in de veestapel	14
	3.1 Kleuren aanwezig in de veestapel	14
	3.2 Genetische merkers die bijdragen aan kleurvererving	14
	3.3 Relaties tussen genotypes (DNA) en fenotypes (kleur)	15
	3.4 Vergelijking tussen geobserveerde kleur, verwacht en geobserveerd genotype per rund	20
	3.5 Samenvatting bevindingen kleurvererving in de veestapel	21
4	Vaststellen familiebanden	22
	4.1 Het principe van tegengestelde homozygoten	22
	4.2 Ouder-nakomeling relaties	23
	4.3 Overige relaties	24
	4.4 Samenvatting bevindingen vaststellen familiebanden	25
	Literatuur	26
	Bijlage 1 Individuele vergelijking tussen geobserveerde kleur, verwacht en geobserveerd genotype per rund	27

Woord vooraf

Het Centrum voor Genetische Bronnen Nederland (CGN) geeft op aanvraag technische ondersteuning aan rasverenigingen en stamboeken over het behoud van genetische diversiteit en duurzame ontwikkeling van rassen die levend bewaard en benut worden. Daarbij ligt de nadruk op de ontwikkeling en evaluatie van fokstrategieën, waarbij enerzijds de genetische diversiteit van het ras behouden wordt en anderzijds het ras ook beter benut kan worden. Het CGN bepaalt in overleg met bovengenoemde organisaties welke dieren in de genenbank opgeslagen moeten worden en welke dieren uit de genenbank opnieuw ingezet worden om de genetische diversiteit van de levende populatie te verbreden. Deze keuzes worden gemaakt op basis van afstammingsgegevens, maar zo mogelijk worden ook DNA analyses hiervoor gebruikt.

Het CGN bedankt de familie van der Veen van harte voor hun medewerking, en de Stichting Roodbont Fries Vee voor hun vraagstelling en financiële bijdrage aan het onderzoek dat resulteerde in het rapport. De veestapel van familie van der Veen bevat unieke combinaties van zeldzame kleuren en aftekeningen en de runderen zijn genetisch uniek. Het is daarom van belang dat de genetische diversiteit van deze veestapel behouden blijft. Met het oog hierop zal sperma van de aanwezige stieren worden veiliggesteld in de genenbank.

Samenvatting

De veestapel van familie van der Veen bestaat uit ongeveer 40 runderen met de witrik aftekening en de bijzondere kleuren vaal en blauw. Dit zijn zeldzame kleuren en aftekening die door jarenlange gerichte fokkerij bij elkaar zijn gebracht en hebben geresulteerd in een bijzondere veestapel van beperkte omvang met unieke combinaties van zeldzame allelen en genotypes. De afstamming van de runderen wordt bijgehouden door familie van der Veen, maar de runderen zijn nog niet ingeschreven in een stamboek. Met een DNA analyse op basis van genotypes van alle runderen zijn drie onderzoeksvragen beantwoord.

Met welke oorspronkelijke Nederlandse rassen is de veestapel van familie van der Veen verwant?

Verwachting vanuit de geschiedenis van de veestapel van familie van der Veen is dat zowel Fries-Hollands – zwart én rood hebben bijgedragen. De invloed van deze rassen varieert per rund, en is gemiddeld 27,5%. Daarnaast laten de resultaten zien dat de veestapel van familie van der Veen niet samen clustert met een enkel oorspronkelijk Nederlands ras. De veestapel van familie van der Veen omvat een unieke combinatie van genetische diversiteit.

Is het genotype vast te stellen voor de verschillende loci voor de diverse kleurvarianten?

Het verwachte genotype op basis van de geobserveerde kleur kwam, op één rund na, overeen met de geobserveerde genotypering voor de basiskleur rood/zwart en de aan- of afwezigheid van de vaal kleur. Voor deze kleuren kon de daadwerkelijke mutatie die de kleur veroorzaakt, bekeken worden. Voor de kleuren witrik, bont en blauw konden er geen harde uitspraken worden gedaan, omdat de daadwerkelijke mutatie niet gegenotypeerd was. Door gerichte fokkerij zijn deze zeldzame kleuren en aftekening bij elkaar gebracht en behouden gebleven. De bijzondere veestapel van beperkte omvang heeft unieke combinaties van zeldzame allelen en genotypes.

Welke familiebanden tussen welke runderen kunnen worden geïdentificeerd?

Op basis van DNA zijn alle moeder-nakomeling combinaties die bekend zijn, geïdentificeerd en daarmee zijn de diverse moederlijnen aanwezig in de veestapel van familie van der Veen geverifieerd met DNA. Op basis van DNA zijn ook overige relaties tussen de runderen in kaart gebracht.

Geformuleerde advies

Conservering van de veestapel wordt geadviseerd in verband met unieke combinaties van allelen, de aanwezige genetische diversiteit, en ruime aanwezigheid én combinaties van zeldzame kleuren en aftekeningen. Ondersteuning vanuit Stichting "De Witrik", de Vereniging voor de fokkerij van het Fries-Hollands rundveeras en Stichting Roodbont FriesVee is gewenst om deze veestapel in stand te houden, evenals opslag van genetisch materiaal (sperma en embryo's) in de genenbank.

1 Introductie

Hoofdstuk 1 geeft een beschrijving van de achtergrond en het doel van het onderzoek, de gevolgde werkwijze en het beschikbare materiaal op basis waarvan het onderzoek is uitgevoerd.

1.1 Achtergrond en doel

De veestapel van familie van der Veen bestaat uit ongeveer 40 runderen met de witrik aftekening. De veestapel is opgebouwd met Friese roodbonte en zwartbonte runderen, waarin bewust de erfelijke factoren voor witrik, vaal en blauw zijn ingebracht (zie Figuur 1.1). Zeldzame kleuren en aftekening die door gerichte fokkerij bij elkaar zijn gebracht en resulteren in unieke combinaties van allelen en genotypes in een bijzondere veestapel van beperkte omvang. De afstamming van de runderen wordt bijgehouden door familie van der Veen, maar de runderen zijn nog niet ingeschreven in een stamboek. Met een DNA analyse op basis van genotypes van alle runderen wordt getracht in een onderzoek drie onderzoeksvragen te beantwoorden:

1. Met welke oorspronkelijke Nederlandse rassen is de veestapel van van der Veen verwant?
2. Is het genotype (homozygoot-heterozygoot) vast te stellen voor de verschillende loci voor de kleurvarianten: zwart/rood, bont, witrik, vaal en blauw?
3. Welke familiebanden tussen welke runderen kunnen worden geïdentificeerd?



Figuur 1.1 Links: de huidige kudde; rechts: één van de huidige koeien. Foto's: Pytsje van der Veen.

Elke onderzoeksvraag wordt in een apart hoofdstuk uitgewerkt. Met het zogeheten genomisch onderzoek zal er meer inzicht worden verkregen in de (genetische) karakteristieken van de runderen in deze veestapel. Deze inzichten zouden kunnen leiden tot verzameling van materiaal voor *ex situ* conservering om bijzondere genetische diversiteit te kunnen veiligstellen voor de toekomst.

1.2 Werkwijze

Het CGN heeft samen met familie van der Veen de haarwortelmonsters van alle runderen genomen. Van de runderen werd het levensnummer genoteerd. De monsters zijn voor DNA-onderzoek (genotyperen van 53.215 genetische markers genaamd SNPs) naar de Universiteit van Luik in België gegaan. De uitkomsten van de onderzoeken (genotypes) zijn gebruikt in de analyses die de drie onderzoeksvragen uitwerkt en rapporteert.

1.3 Beschikbaar onderzoeksmateriaal

Haarmonsters van 47 runderen zijn verzonden naar de Universiteit van Luik in België. Uiteindelijk waren de genotypes van 52.646 SNPs van 47 runderen van voldoende kwaliteit om de analyses op uit te voeren (call-rate $\geq 90\%$). Een beschrijving van de dataset staat weergegeven in Tabel 1.1.

Tabel 1.1 Beschrijving van de dataset – geboortjaar en geslacht van de 47 onderzochte runderen van de veestapel van familie van der Veen.

Kenmerk	Aantal runderen	Percentage
Geboortjaar		
2005	4	8,5%
2007	2	4,3%
2009	1	2,1%
2010	2	4,3%
2011	2	4,3%
2012	6	12,8%
2013	3	6,4%
2014	1	2,1%
2016	13	27,6%
2017	13	27,6%
Geslacht		
Mannelijk	4	8,5%
Vrouwelijk	43	91,5%

Aanvullend werden 24 mutaties gegenotypeerd die een bepaalde variatie in kleur teweegbrengen. Het genotyperen van deze mutaties was succesvol voor 46 runderen.

Om vast te stellen met welke oorspronkelijke Nederlandse rassen de veestapel van familie van der Veen verwant is, is er gebruik gemaakt van reeds beschikbare genotypes van Brandrode, Fries Hollands – zwart, Groninger Blaarkop, Holstein Friesian, Lakenvelder, Maas-Rijn-IJssel en Roodbont Fries vee runderen. Materiaal van deze runderen betrof genotypes van stieren uit de genenbank als ook van reeds eerder uitgevoerde wetenschappelijke onderzoeken (Hulsegge *et al.*, 2019). Daarnaast waren de genotypes ook verkregen uit DNA van haarmonsters van verschillende bedrijven in Nederland. Monsters van de Holstein Friesian runderen waren afkomstig van Dairy Campus. Verder is gebruik gemaakt van materiaal van Angler runderen omdat runderen van dit ras voorheen zijn ingezet in de fokkerij van familie van der Veen. Genotypes van Angler runderen werden verkregen via der Rinderzucht Schleswig-Holstein eG en VIT in Duitsland.

2 Verwantschap met Nederlandse runderrassen

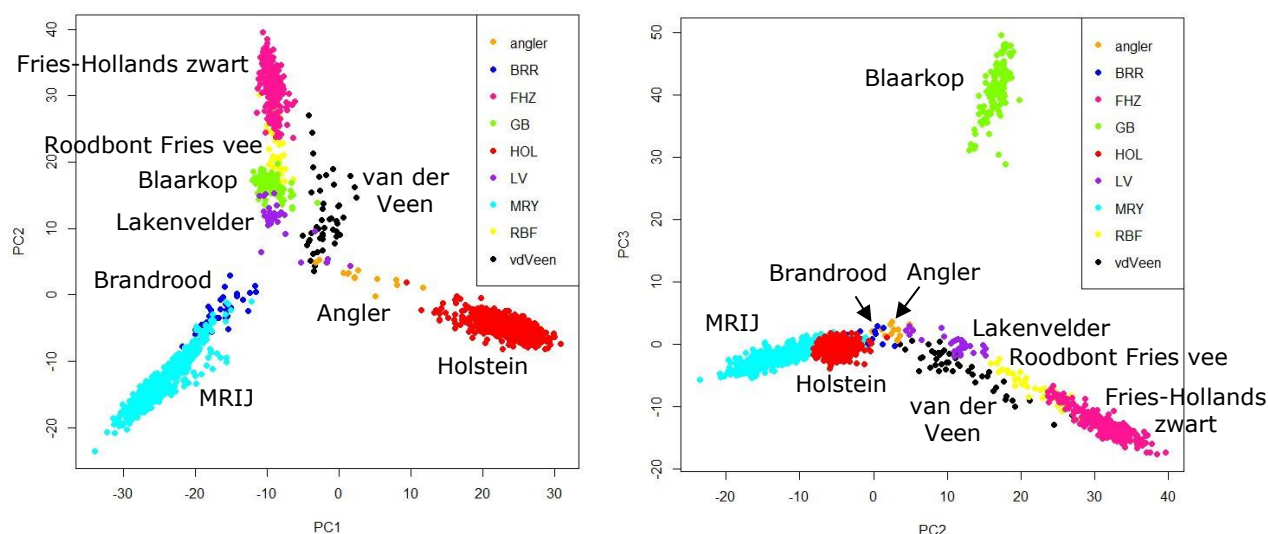
Met behulp van DNA kan vastgesteld worden hoe nauw verwant bepaalde individuen en ook rassen zijn. In dit hoofdstuk beantwoorden we de volgende onderzoeksvraag: met welke oorspronkelijke Nederlandse rassen is de veestapel van familie van der Veen verwant?

2.1 Verwantschap tussen runderen

De verwantschap van de 47 runderen ten opzichte van voornamelijk oorspronkelijke Nederlandse runderrassen is vastgesteld met behulp van een PCA grafiek. Daarbij worden de genotypes van alle runderen onderling vergeleken en de variatie die aanwezig is in de dataset opgedeeld in principale componenten (PC). PC1 verklaart de meeste variatie, gevolgd door PC2, PC3, etc. Elk stipje in de grafiek is een rund; hoe dichter bij elkaar twee stipjes liggen, hoe meer verwant deze twee runderen zijn.

De PCA berekeningen en grafieken zijn gemaakt met behulp van *prcomp* functie in R software.

De PCA grafieken laten zien dat de veestapel van familie van der Veen niet samen clustert met één van de oorspronkelijke Nederlandse runderrassen (zie Figuur 2.1) en is daarmee niet nauw verwant aan één van de oorspronkelijke Nederlandse runderrassen. Gemiddeld genomen is de verwantschap met Holstein-Friesian, MRIJ en Groninger Blaarkop beperkt. Inzetten op het verzamelen van sperma van stieren aanwezig in deze veestapel en embryo's is een gewenste volgende stap.

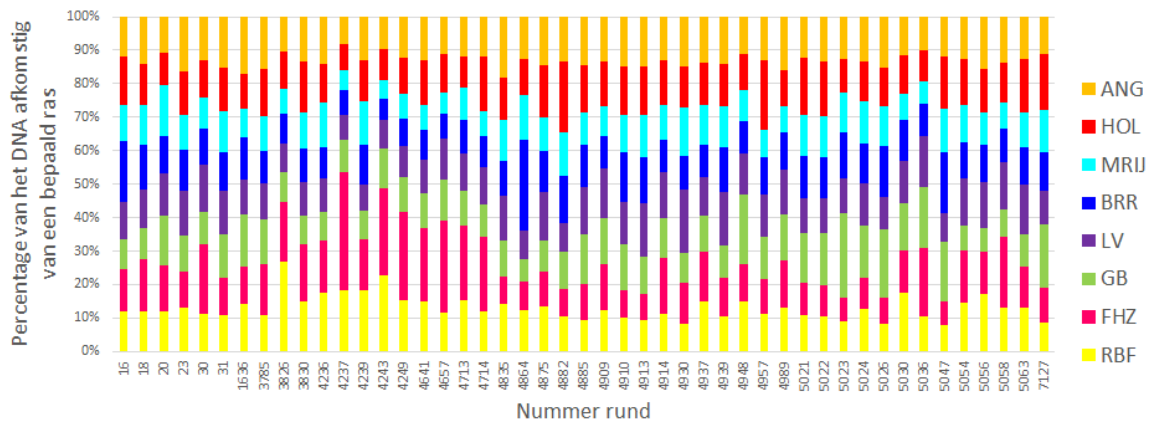


Figuur 2.1 PCA grafieken met principale componenten (PC) 1, 2 en 3 waarbij de verwantschap tussen alle runderen wordt weergegeven. angler = Angler rund, BRR = Brandrode rund, FHZ = Fries-Hollands – zwart, GB = Groninger Blaarkop, HOL = Holstein Friesian, LV = Lakenvelder, MRY = Maas-Rijn-IJssel vee, RBF = Roodbont Fries vee, vdVeen = veestapel van familie van der Veen.

2.2 Indeling naar raspercentage(s)

Aan de hand van de genotypes werd vastgesteld wat de raspercentages van elk ras voor een rund uit de veestapel van familie van der Veen was. Voor elk rund wordt berekend voor hoeveel procent het DNA afkomstig is van de ras(sen) in de (referentie)dataset. Deze analyse werd uitgevoerd met het

programma *STRUCTURE* (versie 2.3.4; Pritchard *et al.*, 2000). De resultaten staan weergegeven in Figuur 2.2. Elk staafje is één rund. Per rund wordt aangegeven wat het raspercentage voor elk ras bedraagt. Is een raspercentage hoog, dan betekent dit dat het DNA van het rund dat onderzocht wordt sterke overeenkomsten heeft met de runderen van dat betreffende ras waarvan reeds eerder het DNA was onderzocht (de referentiepopulatie van het betreffende ras). Middels het onderzoek uitgevoerd voor het project naar raszuiverheid van runderen op basis van DNA, is vastgesteld dat wanneer een rund 77,5% of meer raspercentage van één specifiek ras heeft, dit rund kan worden omschreven als raszuiver voor het betreffende ras.



Figuur 2.2 Resultaten van de *STRUCTURE* analyse waarbij voor elk individueel rund het raspercentage voor elk ras wordt weergegeven (volgorde in de legenda, is ook de volgorde in de grafiek). ANG = Angler rund, BRR = Brandrode rund, FHZ = Fries-Hollands – zwart, GB = Groninger Blaarkop, HOL = Holstein Friesian, LV = Lakenvelder, MRIJ = Maas-Rijn-IJssel vee, RBF = Roodbont Fries vee.

De analyse toont aan dat de veestapel van familie van der Veen een unieke combinatie van genetisch materiaal omvat: gemiddeld per rund 13,1% Roodbont Fries vee, 14,5% Fries-Hollands, 12,3% Groninger Blaarkop, 11,9% Lakenvelder, 11,6% Brandrode, 10,4% MRIJ, 13,0% Holstein Friesian en 13,2% Angler.

2.2.1 Uitlichting individuele runderen

Voor de veestapel van familie van der Veen had geen enkel rund meer dan 77,5% raspercentage voor Fries Hollands – zwart en Roodbont Fries vee bij elkaar opgeteld. Volgens het protocol voor vaststelling raszuiverheid middels DNA zou geen rund uit de veestapel van familie van der Veen in aanmerking komen om als raszuiver te worden ingeschreven in het stamboek.

De moeder van Diana 5 (4714) is aangekocht. Familie van der Veen gaf aan dat er naar verwachting MRIJ en/of HF bloed aanwezig kan zijn in deze koe. De analyses op basis van DNA toonde inderdaad aan dat er een redelijk aandeel HF bloed aanwezig is (zie Figuur 2.2).

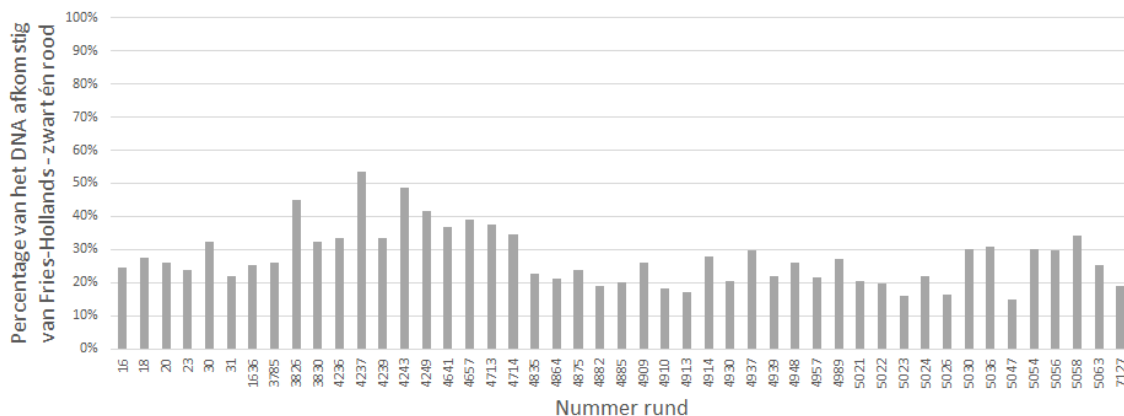
Familie van der Veen gaf aan dat in de Andrieske lijn MRIJ bloed aanwezig is. De analyses op basis van DNA toont inderdaad aan dat er een aandeel MRIJ bloed aanwezig is (31, 4930 en 5021 in Figuur 2.2).

Daarnaast gaf familie van der Veen aan dat in Verhildersum Femke MRIJ bloed aanwezig zou kunnen zijn. De analyses op basis van DNA toont aan dat er MRIJ bloed aanwezig is (3785 in Figuur 2.2).

2.2.2 Aandeel Fries-Hollands – zwart én rood

Verwachting vanuit de geschiedenis van de veestapel van familie van der Veen is dat zowel Fries-Hollands – zwart én rood hebben bijgedragen. Figuur 2.3 focust alleen op het opgetelde raspercentage voor deze twee populaties.

Het raspercentage voor Fries-Hollands – zwart én rood bij elkaar opgeteld, varieert van 14,9% tot 53,5% en bedraagt gemiddeld 27,5% wanneer de veestapel van familie van der Veen wordt vergeleken met de referentiepopulaties van deze rassen. De referentiepopulatie van rood is qua aantallen nog vrij beperkt en omvat daarmee waarschijnlijk niet de gehele diversiteit aanwezig in het ras. Daarnaast bestaat de mogelijkheid dat de lijnen die de familie van der Veen in hun fokkerij heeft gebruikt, niet meer aanwezig zijn in de huidige foklijnen. Hierdoor kan het raspercentage voor Fries-Hollands – zwart én rood mogelijk wat lager zijn uitgevallen dan verwacht.



Figuur 2.3 Resultaten van de STRUCTURE analyse waarbij voor elk individueel rund het raspercentage voor Fries-Hollands – zwart én rood is opgeteld en wordt weergegeven.

Opvallend is dat het raspercentage voor Fries-Hollands – zwart én rood van de meer recent geboren runderen (jaar 2016 en 2017; gemiddeld 28,9%) maar ook de oudere runderen (jaar 2005 en 2007; gemiddeld 33,2%) hoger was ten opzichte van de runderen geboren in de tussenliggende jaren (gemiddeld 22,8%). Daarbij wel een kleine kanttekening geplaatst: deze observatie is gebaseerd op een beperkt aantal runderen!

2.3 Samenvatting bevindingen verwantschap met Nederlandse runderrassen

Om aan te geven met welke oorspronkelijke Nederlandse rassen de veestapel van familie van der Veen verwant is, zijn analyses uitgevoerd waarvan de gedetailleerde resultaten in dit hoofdstuk staan beschreven.

Verwachting vanuit de geschiedenis van de veestapel van familie van der Veen is dat zowel Fries-Hollands – zwart én rood hebben bijgedragen. De invloed van deze rassen varieert per rund van 14,9% tot 53,5%, en is gemiddeld 27,5%.

De resultaten laten zien dat de veestapel van familie van der Veen niet samen clustert met een oorspronkelijk Nederlands ras. De veestapel van familie van der Veen omvat een unieke combinatie van genetisch materiaal. Inzetten op het verzamelen van sperma van stieren aanwezig in deze veestapel en embryo's van koeien is een gewenste volgende stap.

3 Kleurvererving in de veestapel

In dit hoofdstuk worden de resultaten beschreven met betrekking tot de kleurvererving in de veestapel van familie van der Veen.

3.1 Kleuren aanwezig in de veestapel

Kleur van de runderen werd vastgesteld door zowel het stamboek als familie van der Veen. Een overzicht hiervan staat in Tabel 3.1. Verhildersum Femke (NL4704 3785 6) bleek niet gegenotypeerd te zijn, en kon in de kleurvererving analyse niet meegenomen worden.

Tabel 3.1 Kleurbeschrijving van de runderen in de veestapel van familie van der Veen.

Kenmerk	Aantal runderen	Percentage
Kleurcode CRV		
AR	13	29,3%
AZ	13	29,3%
RB	2	4,3%
VB	15	32,6%
ZB	3	6,5%
Kleur vastgesteld door familie van der Veen		
Bont rood	2	4,3%
Bont vaal donker	9	19,6%
Bont vaal licht	1	2,2%
Bont zwart	2	4,3%
Witrik blauw	10	21,8%
Witrik rood	13	29,3%
Witrik vaal blauw	2	4,3%
Witrik vaal donker	5	10,9%
Witrik zwart	2	4,3%

3.2 Genetische merkers die bijdragen aan kleurvererving

In totaal werden genotypes voor 24 genetische merkers aangeleverd, die betrokken zijn bij kleurvererving in runderen. Het aantal unieke merkers was 9 ($LD \neq 1$, waarbij de genotypes van de ene merker niet identiek zijn aan het genotype van een nabijgelegen merker). Genotypes voor de betreffende genetische merkers (of beter gezegd de mutatie verantwoordelijk voor de kleur) staat in Tabel 3.2 beschreven. Het gen betrokken bij de overerving van zwart/rood is *MC1R* (BTA18) en bij vaal is *PMEL* (BTA5), *TYRP1* (BTA8) en *MITF_2* (BTA22). Meer over de overerving van de kleuren staat beschreven in "3.4 Vergelijking tussen geobserveerde kleur, verwacht en geobserveerd genotype per rund".

Tabel 3.2 Informatie over de gegenotypeerde (unieke, $LD \neq 1$) mutaties in genen betrokken bij overerving van zwart/rood en vaal.

Naam gen	BTA	Positie	Opmerking	Genotype			
				AA	AB	BB	Allelfreq
PMEL_1	5	57.669.912	InDelAlleles	28	16	1	0,80
PMEL_2	5	57.669.926		46	0	0	1
TYRP1	8	31.711.945		45	0	0	1
EuroG10K_SNP_MC1R_346	18	14.757.898		46	0	0	1
EuroG10K_SNP_MC1R_358	18	14.757.910		6	10	0	0,69
EuroG10K_SNP_MC1R_358_R_B	18	14.757.910		14	22	10	0,54
MC1R	18	14.757.924	InDelAlleles	46	0	0	1
EuroG10K_SNP_AF547663_L	18	14.757.925		35	11	0	0,88
MITF_2	22	31.769.189	regulatie TYRP1	34	10	1	0,87

Daarnaast segregeren witrik (colour-sided; Cs20 op BTA29), bont (spotted; *KIT* op BTA6) en blauw (roan; *KITLG* op BTA5) in de veestapel van familie van der Veen. De daadwerkelijke mutaties voor deze genen waren echter niet voor handen (wel dus voor zwart/rood en vaal). In dergelijke situaties kan gebruik worden gemaakt van genetische merker(s) die in de buurt liggen van deze genen. Als dergelijke merkers dichtbij het gen liggen, vertegenwoordigen deze merkers nagenoeg dezelfde informatie als het gen zelf (het principe van linkage disequilibrium, LD). De onderzochte genetische merkers in de buurt van genen verantwoordelijk voor blauw en bont staan vermeld in Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Informatie over de gegenotypeerde genetische merkers in de buurt van genen betrokken bij overerving van witrik, bont en blauw.

Naam genetische merker	BTA	Positie	Opmerking	Genotype			Allelfreq
				AA	AB	BB	
Gen: <i>KITLG</i>	5	18.339.001	Overerving blauw				
BTA-74300-NO-RS	5	18.022.416		13	24	3	0,63
BTA-74302-NO-RS	5	18.047.140		27	19	0	0,79
BTA-74304-NO-RS	5	18.075.032		18	26	1	0,69
HAPMAP25789-BTA-123396	5	18.294.913		15	28	3	0,63
BTA-123395-NO-RS	5	18.298.823		45	1	0	0,99
HAPMAP26418-BTA-147132	5	18.321.966		45	0	0	1
BTA-72821-NO-RS	5	18.434.417		46	0	0	1
BTA-72820-NO-RS	5	18.456.049		45	1	0	0,99
HAPMAP41762-BTA-117570	5	18.943.987		40	5	0	0,94
Gen: <i>KIT</i>	6	70.166.681-70.254.049	Overerving bont				
ARS-BFGL-NGS-35445	6	69,512,310		11	24	8	0,53
HAPMAP59849-RS29025576	6	69,601,707		17	20	7	0,61
HAPMAP38628-BTA-76690	6	69,639,884		31	12	2	0,82
ARS-BFGL-NGS-108820	6	69,807,027		25	20	1	0,76
HAPMAP50117-BTA-81807	6	69,840,434		26	19	1	0,77
ARS-BFGL-NGS-93633	6	69,882,331		43	3	0	0,97
ARS-BFGL-NGS-32371	6	70,000,724		18	18	8	0,61
ARS-BFGL-NGS-96402	6	70,025,545		26	13	3	0,77
ARS-BFGL-NGS-117236	6	70,065,213		16	24	6	0,61
ARS-BFGL-NGS-26116	6	70,123,449		45	1	0	0,99
HAPMAP60836-RS29027147	6	70,209,132		26	17	3	0,75
HAPMAP54879-RS29017018	6	70,236,581		26	16	3	0,76
ARS-BFGL-NGS-117001	6	70,320,611		10	28	6	0,55
HAPMAP38134-BTA-107929	6	70,349,791		46	0	0	1
HAPMAP44512-BTA-107928	6	70,376,204		21	20	1	0,74
ARS-BFGL-NGS-44467	6	70,412,049		23	21	2	0,73
ARS-BFGL-NGS-117739	6	70,478,273		25	17	1	0,78
Gen: Cs20	29		Overerving witrik	Een copy-number-variant-genererend mechanisme, daarom uitdagend om via genotype informatie vast te stellen			

3.3 Relaties tussen genotypes (DNA) en fenotypes (kleur)

Om eenduidig een relatie tussen genotype (het DNA) en fenotype (wat we zien/meten, in dit geval kleur) vast te stellen, is het van belang dat er geen verstrengeling optreedt tussen de verschillende kleuren. Wanneer we naar de veestapel van familie van der Veen kijken, is er sprake van verstrengeling tussen de verschillende kleuren: runderen met een bonte aftekening zijn geen witrik, en witrikken zijn niet bont. Daarnaast hebben alle runderen met een vale kleur ook een bonte aftekening. Verder hebben alle witrikken niet een vale kleur. Een ietwat minder heldere verstrengeling (opgemerkt bij kleurdefiniëring van familie van der Veen) treedt op tussen bont, rood/zwart en witrik: het merendeel (87,5%) van de rode runderen is niet bont maar wel witrik (ten opzichte van 50% van de zwarte runderen). Bij kleurdefiniëring door familie van der Veen valt op dat alle blauwe runderen niet bont zijn, maar wel witrik. Verder is 80% van de niet-vaal gekleurde runderen rood en 20% zwart.

Het gevolg van verstrengeling is bijvoorbeeld dat het gen *PMEL*(_1) dat betrokken is bij overerving van vaal, ook een effect lijkt te hebben op bont. Zoals vastgesteld hebben alle vaal runderen een bonte aftekening. Omdat bont en vaal dus verstrengeld zijn, vinden we een onecht effect van het gen *PMEL*(_1) op bont.

Relaties tussen genotype en kleur werden statistisch getoetst met een Chi-kwadraat test om na te gaan of de veronderstelde relatie in het licht van de waarnemingen, verworpen dient te worden (zie Tabel 3.4). Wanneer de relatie significant wordt bevonden (de significantie is ≤ 0.05), lijkt het onaanneemelijk dat de gevonden relatie tussen genotype en kleur op toeval berust; de veronderstelde relatie betreft dus een daadwerkelijke relatie tussen genotype en kleur.

Tabel 3.4 Significantie (Chi-kwadraat test) van de relaties tussen genotypes en kleur. Grijs gearceerd: significante relatie tussen genotype en kleur (Chi-kwadraat test ≤ 0.05); roze gearceerd: verwachte relatie tussen genotype en kleur.

Kleur	Gen/genetische marker				
	PMEL_1	MC1R_358	MC1R_358_R_B	AF547663_L	MITF_2
CRV					
Bont	<0,0001	0,0907	0,0174	0,3960	0,2515
Witrik	<0,0001	0,0907	0,0174	0,3960	0,2515
Rood/zwart	0,1709	0,5708	<0,0001	0,3184	0,5127
Vaal	<0,0001	0,1523	0,0074	0,2974	0,1373
Familie van der Veen					
Bont	0,0049	0,7897	0,2834	0,6242	0,0196
Witrik	0,0049	0,7897	0,2834	0,6242	0,0196
Rood/zwart	-	-	0,0007	0,3724	0,8796
Vaal	<0,0001	0,5153	0,0024	0,5032	0,2582
Blauw	0,2042	0,8892	0,0280	0,1411	0,3094
Donker/licht	0,0001	-	0,4642	0,5325	0,3425
	BTA-74300-NO-RS	BTA-74302-NO-RS	BTA-74304-NO-RS	HAPMAP257 89-BTA-123396	HAPMAP417 62-BTA-117570
CRV					
Bont	0,4634	0,8748	0,6601	0,1506	0,8320
Witrik	0,4634	0,8748	0,6601	0,1506	0,8320
Rood/zwart	0,8610	0,3785	0,3216	0,1603	0,6256
Vaal	0,9066	0,6074	0,7713	0,3522	0,7373
Familie van der Veen					
Bont	0,5404	0,8875	0,4126	0,2286	0,1110
Witrik	0,5404	0,8875	0,4126	0,2286	0,1110
Rood/zwart	0,7576	0,4355	0,6643	0,6509	0,5823
Vaal	0,9864	0,9892	0,5892	0,2741	0,9134
Blauw	0,8993	0,9763	0,8287	0,1596	0,4745
Donker/licht	0,6323	0,3980	0,3329	0,5421	0,6847
	ARS-BFGL-NGS-35445	HAPMAP598 49-RS29025576	HAPMAP386 28-BTA-76690	ARS-BFGL-NGS-108820	HAPMAP501 17-BTA-81807
CRV					
Bont	0,6884	0,5514	0,0067	0,4963	0,5145
Witrik	0,6884	0,5514	0,0067	0,4963	0,5145
Rood/zwart	0,4848	0,4710	0,2723	0,3473	0,1826
Vaal	0,1530	0,7515	0,0285	0,3072	0,2720
Familie van der Veen					
Bont	0,4814	0,9235	0,0027	0,2734	0,2953
Witrik	0,4814	0,9235	0,0027	0,2734	0,2953
Rood/zwart	0,8492	0,2116	0,8882	0,7500	0,9464
Vaal	0,0470	0,4411	0,0794	0,2099	0,1562
Blauw	0,2782	0,9044	0,3992	0,7527	0,6797
Donker/licht	0,7415	0,6258	0,3425	0,4477	0,4477
	ARS-BFGL-NGS-93633	ARS-BFGL-NGS-32371	ARS-BFGL-NGS-96402	ARS-BFGL-NGS-117236	HAPMAP608 36-RS29027147
CRV					
Bont	0,7139	0,7477	0,0270	0,1643	0,2682
Witrik	0,7139	0,7477	0,0270	0,1643	0,2682
Rood/zwart	0,1569	0,6821	0,5110	0,4706	0,4357
Vaal	0,9779	0,6971	0,1578	0,0433	0,5934
Familie van der Veen					
Bont	0,9101	0,6600	0,0190	0,0536	0,9892
Witrik	0,9101	0,6600	0,0190	0,0536	0,9892
Rood/zwart	-	0,4698	0,1445	0,2230	0,8402

Vaal	0,8930	0,5310	0,2536	0,0048	0,3204
Blauw	0,0978	0,3110	0,5827	0,3090	0,6049
Donker/licht	0,7821	0,5836	0,4878	0,4642	0,7650
	HAPMAP548 79- RS29017018	ARS-BFGL- NGS-117001	HAPMAP445 12-BTA- 107928	ARS-BFGL- NGS-44467	ARS-BFGL- NGS-117739
CRV					
Bont	0,1753	0,0993	0,2826	0,1778	0,4729
Witrik	0,1753	0,0993	0,2826	0,1778	0,4729
Rood/zwart	0,4357	0,5473	0,3428	0,5763	0,5012
Vaal	0,4059	0,1371	0,7740	0,7864	0,4180
Familie van der Veen					
Bont	0,9087	0,0960	0,4241	0,4137	0,7051
Witrik	0,9087	0,0960	0,4241	0,4137	0,7051
Rood/zwart	0,8402	0,7768	0,6223	0,4355	0,4522
Vaal	0,1966	0,2501	0,5203	0,5489	0,2019
Blauw	0,6687	0,5407	0,1779	0,7227	0,2534
Donker/licht	0,8062	0,2602	0,4106	0,6997	0,5879

Significante relaties (Chi-kwadraat test ≤ 0.05) tussen genotype en kleur werden vastgesteld voor de genetische merkers en kleuren in Tabel 3.5. Voor een groot deel van de testen wordt echter een waarschuwing afgegeven: 50% van de cellen heeft een aantal van 5 of minder, de Chi-kwadraat test kan mogelijk een niet valide test zijn. In verband met een beperkt aantal runderen (en een beperkt aantal runderen met een bepaalde kleur) waarop de test wordt uitgevoerd, is dit onvermijdelijk. Het beperkte aantal runderen (met een bepaalde kleur) zorgt er waarschijnlijk ook voor dat een aantal verwachte relaties (roze gearceerd) niet significant bevonden worden.

Tabel 3.5 Significante relaties (Chi-kwadraat test ≤ 0.05) tussen genotypes en kleur bepaald door CRV en familie van der Veen (vdv).

Kleur	Genotype			Significantie
Bont				
PMEL_1				
Bont	AA	AB	BB	Chi-kwadraat
Ja	1	14	5	<0,0001
Nee	0	2	23	
Onverwacht, maar bont en vaal zijn verstrengeld (vaal = bont) in de veestapel. <i>PMEL</i> bepaalt vaal.				
MC1R_358_R_B				
Bont	AA	AB	BB	Chi-kwadraat
Ja	2	11	7	0,0174
Nee	12	11	3	
Onverwacht, maar bont en rood/zwart zijn deels verstrengeld (rood ≠ bont) in de veestapel. <i>MC1R</i> bepaalt mede rood/zwart.				
PMEL_1				
Bont - vdv	AA	AB	BB	Chi-kwadraat
Ja	1	9	4	0,0049
Nee	0	7	24	
Onverwacht, maar bont en vaal zijn verstrengeld (vaal = bont) in de veestapel. <i>PMEL</i> bepaalt vaal.				
MITF_2				
Bont - vdv	AA	AB	BB	Chi-kwadraat
Ja	1	6	7	0,0196
Nee	0	4	27	
Onverwacht, maar bont en vaal zijn verstrengeld (vaal = bont) in de veestapel. <i>MITF/TYRP1</i> bepaalt vaal.				
HAPMAP38628-BTA-76690				
Bont	AA	AB	BB	Chi-kwadraat
Ja	9	9	2	0,0067
Nee	22	3	0	
Verwacht. HAPMAP38628-BTA-76690 ligt in de buurt van het gen <i>KIT</i> dat bont bepaalt.				
HAPMAP38628-BTA-76690				
Bont - vdv	AA	AB	BB	Chi-kwadraat
Ja	5	7	2	0,0027
Nee	26	5	0	
Verwacht. HAPMAP38628-BTA-76690 ligt in de buurt van het gen <i>KIT</i> dat bont bepaalt.				
ARS-BFGL-NGS-96402				
Bont	AA	AB	BB	Chi-kwadraat
Ja	8	8	3	0,0027
Nee	18	5	0	
Verwacht. ARS-BFGL-NGS-96402 ligt in de buurt van het gen <i>KIT</i> dat bont bepaalt.				
ARS-BFGL-NGS-96402				
Bont - vdv	AA	AB	BB	Chi-kwadraat
Ja	4	7	2	0,0190
Nee	22	6	1	

Verwacht. ARS-BFGL-NGS-96402 ligt in de buurt van het gen *KIT* dat bont bepaalt.

Witrik

PMEL_1				
Witrik	AA	AB	BB	Chi-kwadraat
Ja	0	2	23	<0,0001
Nee	1	14	5	

Onverwacht, maar witrik en vaal zijn verstrengeld (witrik = niet vaal) in de veestapel. *PMEL* bepaalt vaal.

MC1R_358_R_B				
Witrik	AA	AB	BB	Chi-kwadraat
Ja	12	11	3	0,0174
Nee	2	11	7	

Onverwacht, maar witrik en rood/zwart zijn deels verstrengeld (witrik = rood) in de veestapel. *MC1R* bepaalt mede rood/zwart.

PMEL_1				
Witrik - vdv	AA	AB	BB	Chi-kwadraat
Ja	0	7	24	0,0049
Nee	1	9	4	

Onverwacht, maar witrik en vaal zijn verstrengeld (witrik = niet vaal) in de veestapel. *PMEL* bepaalt vaal.

MITF_2				
Witrik - vdv	AA	AB	BB	Chi-kwadraat
Ja	0	4	27	0,0196
Nee	1	6	7	

Onverwacht, maar witrik en vaal zijn verstrengeld (witrik = niet vaal) in de veestapel. *MITF/TYRP1* bepaalt vaal.

HAPMAP38628-BTA-76690				
Witrik	AA	AB	BB	Chi-kwadraat
Ja	22	3	0	0,0067
Nee	9	9	2	

Bont is niet witrik en witrikken zijn niet bont in de veestapel. HAPMAP38628-BTA-76690 ligt in de buurt van het gen *KIT* dat bont bepaalt.

HAPMAP38628-BTA-76690				
Witrik - vdv	AA	AB	BB	Chi-kwadraat
Ja	26	5	0	0,0027
Nee	5	7	2	

Bont is niet witrik en witrikken zijn niet bont in de veestapel. HAPMAP38628-BTA-76690 ligt in de buurt van het gen *KIT* dat bont bepaalt.

ARS-BFGL-NGS-96402				
Witrik	AA	AB	BB	Chi-kwadraat
Ja	18	5	0	0,0027
Nee	8	8	3	

Bont is niet witrik en witrikken zijn niet bont in de veestapel. ARS-BFGL-NGS-96402 ligt in de buurt van het gen *KIT* dat bont bepaalt.

ARS-BFGL-NGS-96402				
Witrik - vdv	AA	AB	BB	Chi-kwadraat
Ja	22	6	1	0,0190
Nee	4	7	2	

Bont is niet witrik en witrikken zijn niet bont in de veestapel. ARS-BFGL-NGS-96402 ligt in de buurt van het gen *KIT* dat bont bepaalt.

Vaal

PMEL_1				
Vaal	AA	AB	BB	Chi-kwadraat
Ja	1	14	0	<0,0001
Nee	0	2	28	

Verwacht. *PMEL* bepaalt vaal.

MC1R_358_R_B				
Vaal	AA	AB	BB	Chi-kwadraat
Ja	0	10	5	0,0074
Nee	14	12	5	

80% van de vaal gekleurde runderen in de veestapel is rood (20% zwart), deels verstrengeling.

PMEL_1				
Vaal - vdv	AA	AB	BB	Chi-kwadraat
Ja	1	16	0	<0,0001
Nee	0	0	28	

Verwacht. *PMEL* bepaalt vaal.

MC1R_358_R_B				
Vaal - vdv	AA	AB	BB	Chi-kwadraat
Ja	0	11	6	0,0024
Nee	14	11	4	

80% van de vaal gekleurde runderen in de veestapel is rood (20% zwart), deels verstrengeling.

HAPMAP38628-BTA-76690				
Vaal	AA	AB	BB	Chi-kwadraat
Ja	7	6	2	0,0285

Nee	24	6	0	
Onverwacht, maar bont en vaal zijn verstrengeld (vaal = bont) in de veestapel. HAPMAP38628-BTA-76690 ligt in de buurt van het gen <i>KIT</i> dat bont bepaald.				
ARS-BFGL-NGS-35445				
Vaal - vdv	AA	AB	BB	Chi-kwadraat
Ja	1	10	5	0,0470
Nee	10	14	3	
Onverwacht, maar bont en vaal zijn verstrengeld (vaal = bont) in de veestapel. ARS-BFGL-NGS-35445 ligt in de buurt van het gen <i>KIT</i> dat bont bepaald.				
ARS-BFGL-NGS-117236				
Vaal	AA	AB	BB	Chi-kwadraat
Ja	9	5	1	0,0433
Nee	7	19	5	
Onverwacht, maar bont en vaal zijn verstrengeld (vaal = bont) in de veestapel. ARS-BFGL-NGS-117236 ligt in de buurt van het gen <i>KIT</i> dat bont bepaald.				
ARS-BFGL-NGS-117236				
Vaal - vdv	AA	AB	BB	Chi-kwadraat
Ja	11	5	1	0,0048
Nee	5	19	5	
Onverwacht, maar bont en vaal zijn verstrengeld (vaal = bont) in de veestapel. ARS-BFGL-NGS-117236 ligt in de buurt van het gen <i>KIT</i> dat bont bepaald.				
Rood/zwart				
MC1R_358_R_B				
Rood/zwart	AA	AB	BB	Chi-kwadraat
Rood	14	1	0	<0,0001
Zwart	0	11	5	
Verwacht. <i>MC1R</i> bepaalt mede rood/zwart.				
MC1R_358_R_B				
Rood/zwart - vdv	AA	AB	BB	Chi-kwadraat
Rood	14	1	0	0,0007
Zwart	0	3	1	
Verwacht. <i>MC1R</i> bepaald rood/zwart.				
Blauw				
MC1R_358_R_B				
Blauw - vdv	AA	AB	BB	Chi-kwadraat
Ja	0	8	4	0,0280
Nee	14	14	6	
Onverwacht, maar blauw = rood in de veestapel. <i>MC1R</i> bepaald rood/zwart.				
HAPMAP25789-BTA-123396				
Blauw - vdv	AA	AB	BB	Chi-kwadraat
Ja	2	10	0	0,1596
Nee	13	18	3	
Verwacht. HAPMAP25789-BTA-123396 heeft variatie en ligt het dichtst in de buurt van het gen <i>KITLG</i> dat blauw bepaalt.				
Donker/licht				
PMEL_1				
Donker/licht - vdv	AA	AB	BB	Chi-kwadraat
Donker	0	14	0	0,0001
Licht	1	0	0	
Onverwacht; <i>PMEL</i> bepaalt vaal.				

Vaal, bont en witrik zijn duidelijk verstrengeld in de veestapel van familie van der Veen: runderen met een bonte aftekening zijn geen witrik, wittrikken zijn niet bont, alle runderen met een vale kleur hebben ook een bonte aftekening en verder hebben alle wittrikken in de veestapel van familie van der Veen niet een vale kleur. In de gevonden significante relaties tussen genotype en kleur komt deze verstrengeling helder naar voren.

De kleur vaal (zowel bepaald door CRV als door familie van der Veen) is het meest significant geassocieerd met *PMEL_1* (gen voor vaal). De kleur rood/zwart (zowel bepaald door CRV als door familie van der Veen) is het meest significant geassocieerd met *MC1R_358_R_B* (gen voor rood/zwart). De kleur blauw (bepaald door familie van der Veen) is met meest geassocieerd met HAPMAP25789-BTA-123396 (in de buurt van het gen voor blauw), maar niet significant. De kleur bont (bepaald door familie van der Veen) is het meest significant geassocieerd met HAPMAP38628-BTA-76690 (in de buurt van het gen voor bont).

De kleur bont en witrik (bepaald door CRV) is het meest significant geassocieerd met PMEL_1, door verstrengeling tussen bont, witrik en vaal, daar *PMEL* vaal bepaalt. De kleur witrik (bepaald door familie van der Veen) is het meest significant geassocieerd met HAPMAP38628-BTA-76690 (in de buurt van het gen voor bont), door verstrengeling tussen witrik en bont, daar HAPMAP38628-BTA-76690 in de buurt van KIT ligt dat bont bepaalt.

3.4 Vergelijking tussen geobserveerde kleur, verwacht en geobserveerd genotype per rund

Op basis van de geobserveerde kleur van de runderen kan voorspeld worden wat het genotype is voor een gen. Het verwachte genotype werd vergeleken met het geobserveerde genotype om te kijken of dit in overeenstemming is. Het verwachte genotype werd verkregen uit het lijvige verslag genaamd 'Behoud de witrik voor Nederland' (Boschma & van der Veen, 2009), het geobserveerde genotype via het DNA-onderzoek uitgevoerd in Luik, België.

De kleuren aanwezig in de veestapel van familie van der Veen worden bepaald door een aantal genen. Zoals beschreven in Boschma & van der Veen (2009) zijn dit de volgende genen, of loci op het DNA:

Extension locus voor de basiskleur (*MC1R*):

- Ed/Ed of Ed/e is zwart
- e/e is rood

Verdunning van de basiskleur, genaamd Dilution (*PMEL*):

- D/D is lichtvaal
- D/d⁺ is donkervaal
- d⁺/d⁺ is niet vaal

Schimmel, blauw of roan kleur (*KITLG*):

- R/R is wit
- R/r⁺ is witte en gepigmenteerde haren komen vermengd voor
- r⁺/r⁺ is witte en gepigmenteerde haren zijn van elkaar gescheiden

Witte patronen, ook wel spotting genoemd (*KIT*):

- S^p/S^p, S^p/S of S^p/s is een 'line back'
- S/S of S/s is eenkleurig
- s/s is bont

Colour-sidedness of wel witrik (*Cs20*):

- Cs/Cs is wit met gepigmenteerde oren en mond en licht pigment op de zijden, bekend als 'dubbele witrik'
- Cs/cs⁺ is een witrik
- cs⁺/cs⁺ is geen witrik

Omdat alleen voor vaal en rood/zwart de daadwerkelijke mutatie gegenotypeerd was, kunnen er alleen harde uitspraken gedaan worden met betrekking tot deze genen en geobserveerde kleur. Een gedetailleerd overzicht is te vinden in Bijlage 1. De aan- of afwezigheid van vaal kwam overeen met het DNA. De geobserveerde kleur (zwart of rood) kwam overeen met het DNA, behalve voor één rund: Niko 215 (NL 7306 5023 2) zou op basis van zijn genotype (Ed/e) niet rood kunnen zijn. Het DNA was echter van onvoldoende kwaliteit waardoor de kans groot is dat dit genotype een genotyperingsfoutje betreft, de geobserveerde kleur is daadwerkelijk rood.

Met betrekking tot witrik, bont en blauw konden er geen harde uitspraken worden gedaan. Voor witrik was er geen locus tot onze beschikking. De genetische merkers in de buurt van *KITGL* waren niet voorspellend genoeg voor de blauwe kleur. Voor de kleur bont waren de genetische merkers in de

buurt van *KIT* iets meer voorspellend, maar nog steeds niet voorspellend genoeg om een uitspraak te kunnen doen.

3.5 Samenvatting bevindingen kleurvererving in de veestapel

Het verwachte genotype op basis van de geobserveerde kleur kwam overeen met de geobserveerde genotypering voor de basiskleur rood/zwart, behalve voor één rund, en de aan- of afwezigheid van de vaal kleur. Voor deze kleuren kon de daadwerkelijke mutatie die de kleur veroorzaakt, bekeken worden.

Voor de kleuren witrik, bont en blauw konden er geen harde uitspraken worden gedaan, omdat de daadwerkelijke mutatie niet gegenotypeerd was.

Door gerichte fokkerij in de veestapel van familie van der Veen zijn in Nederland zeldzame kleuren en aftekening bij elkaar gebracht. De bijzondere, van beperkte omvang zijnde veestapel heeft daarmee unieke combinaties van zeldzame allelen en genotypes. Goed om veilig te stellen voor de toekomst!

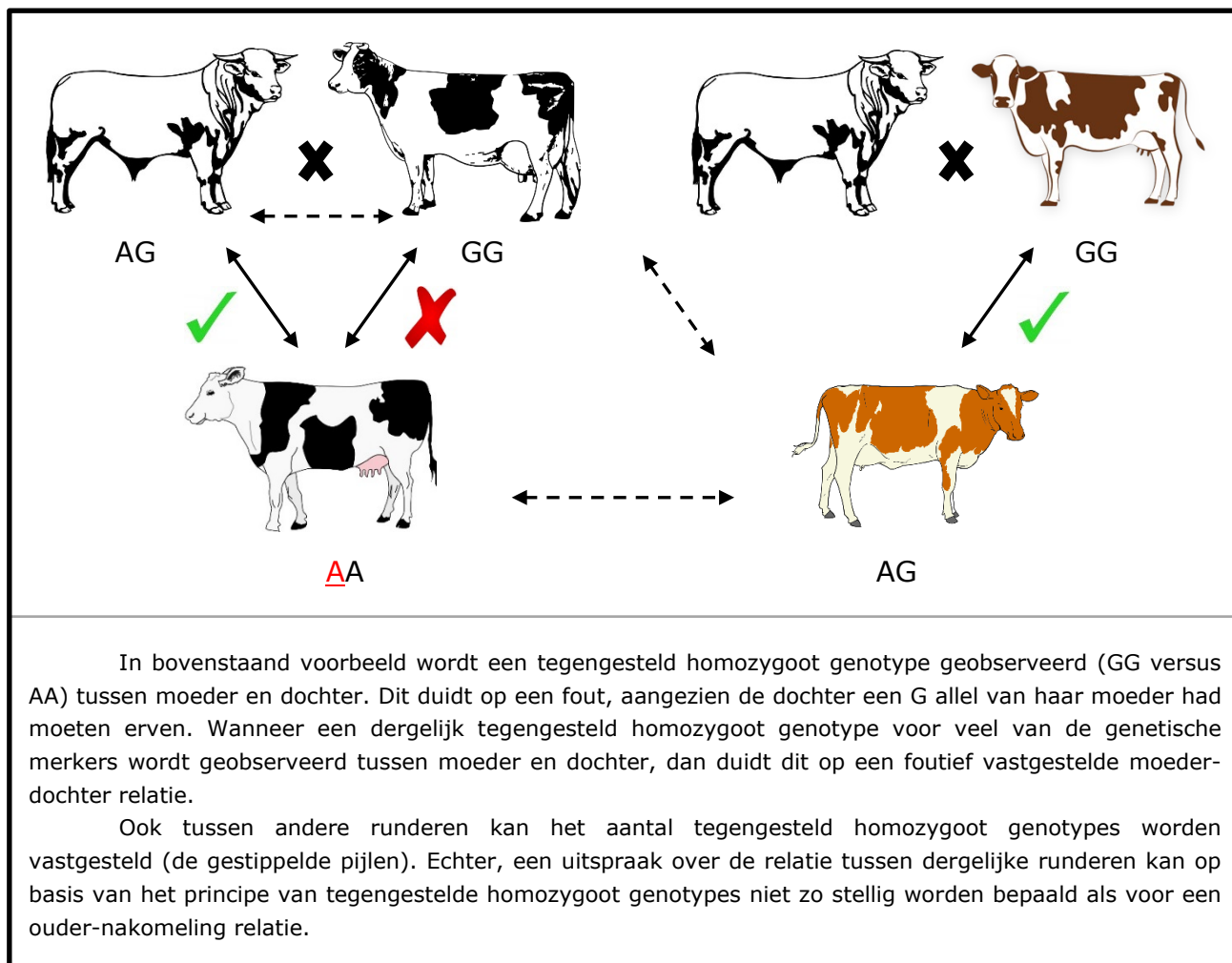
4 Vaststellen familiebanden

Met behulp van genotypes kunnen familiebanden tussen individuen worden geïdentificeerd. In dit hoofdstuk worden de resultaten beschreven met betrekking tot het vaststellen van familiebanden in de veestapel van familie van der Veen op basis van het principe van tegengestelde homozygoten.

4.1 Het principe van tegengestelde homozygoten

Het principe van tegengestelde homozygoten is gebruikt om familiebanden tussen runderen in de veestapel van familie van der Veen vast te stellen. Dit principe berust op het feit dat een nakomeling bijvoorbeeld voor een genetische merker nooit het genotype "AA" kan hebben, wanneer een ouder het genotype "GG" heeft, aangezien deze ouder per definitie een "G" zal doorgeven aan de nakomeling (zie Figuur 4.1). Daarvoor zijn alle genetische merkers tussen twee individuen met elkaar vergeleken. Het aantal tegengestelde homozygoten tussen ouder en nakomeling zou zeer beperkt moeten zijn, maar niet nul (door genotyperingsfoutjes die kunnen voorkomen). Daarnaast geldt, hoe nauwer de familieband, des te minder tegengestelde homozygoten, omdat het DNA van meer verwante individuen meer op elkaar lijkt.

Alle runderen zijn met elkaar vergeleken voor alle genetische merkers. Het aantal tegengestelde homozygoten is vastgesteld met een script ontwikkeld door dr. B.J. Hayes en beschreven in een wetenschappelijk artikel (Hayes, 2011).



Figuur 4.1 Toelichting op het principe van tegengestelde homozygoten.

4.2 Ouder-nakomeling relaties

In Tabel 4.1 staan, door een zeer beperkt aantal tegengestelde homozygoten, op basis van DNA geverifieerde moeder-nakomeling relaties.

Tabel 4.1 Op basis van DNA geverifieerde moeder-nakomeling combinaties.

Dier 1	Dier 2	Aantal tegengestelde homozygoten	Naam dier 1	Naam moeder
5063	4957	3	Nienke 315	Nienke 215
31	4930	5	Andrieske 23	Andrieske 3
16	4882	8	Nienke 116	Nienke 115
18	4937	9	Diana 16	Diana 15
4989	1636	11	Wegtertje 436	Wegtertje=Wegtertje 36
5022	4882	11	Nienke 415	Nienke 115
5036	4713	11	Mieneke 143	Minneke 43
4910	1636	12	Wegtertje 236	Wegtertje=Wegtertje 36
4937	4714	12	Diana 15	Diana 5
4957	4882	12	Nienke 215	Nienke 115
5054	4713	12	Mieneke 343	Minneke 43
5026	4910	13	Wegtertje 336	Wegtertje 236
4875	4714	14	Diana 15	Diana 5
5023	4957	15	Niko 215	Nienke 215
20	4914	18	Mienke 325	Mieneke 324
5056	4835	18	Roza 121	Roza 120
23	4948	19	Femme 2	Femke 2
5058	4657	32	Mieneke 125	Mieneke 124
4948	3785	39	Femke 2	Verhil Femke
4885	4657	41	Mieneke 224	Mieneke 124
4914	4657	42	Mieneke 324	Mieneke 124

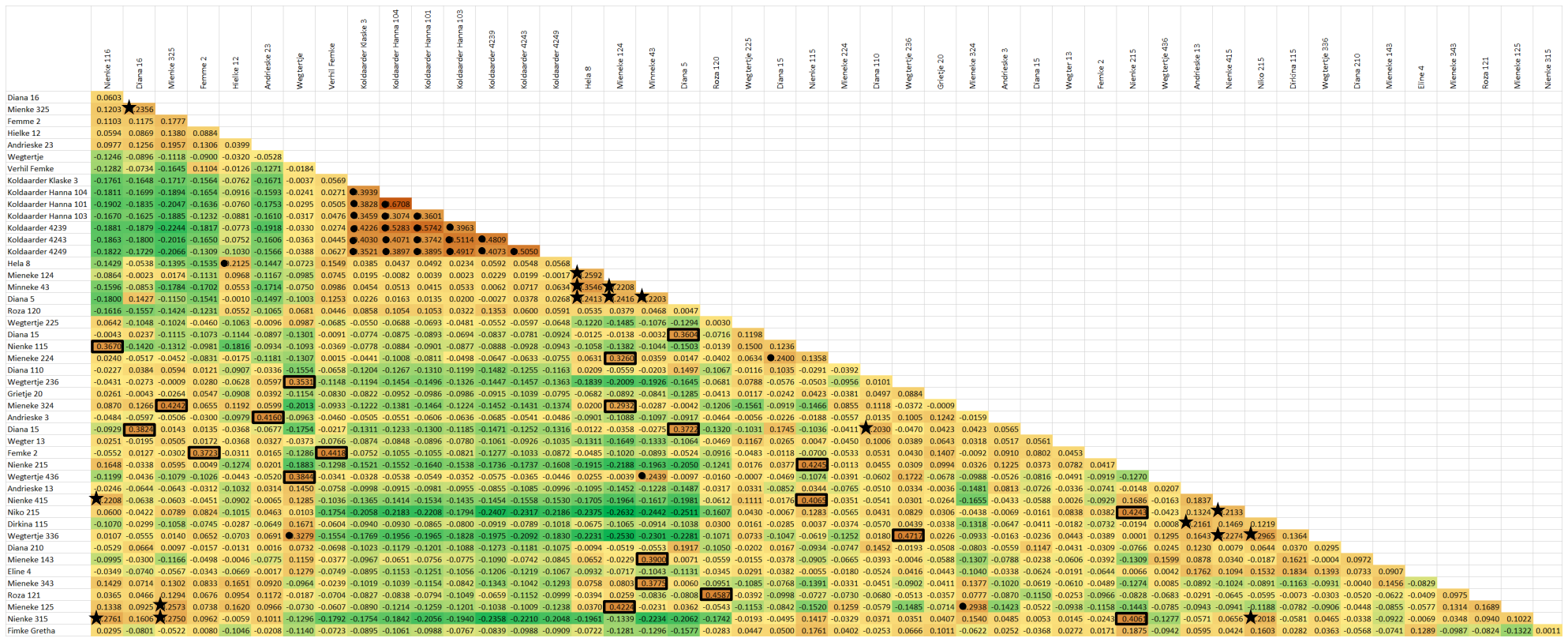
Uit deze geverifieerde moeder-nakomeling combinaties kan een aantal moederlijnen op basis van DNA geverifieerd worden (zie Tabel 4.2).

Tabel 4.2 Op basis van DNA geverifieerde moederlijnen.

Moeder	Nakomeling	Nakomeling
Nienke 115	Nienke 116	
	Nienke 215	Nienke 315
		Niko 215
	Nienke 415	
Andrieske 3	Andrieske 23	
Wegtertje = Wegtertje 36	Wegtertje 236	Wegtertje 336
	Wegtertje 436	
Minneke 43	Mieneke 143	
	Mieneke 343	
Mieneke 124	Mieneke 324	Mieneke 325
	Mieneke 224	
	Mieneke 125	
Diana 5	Diana 15 (4937)	Diana 16
	Diana 15 (4875)	
Verhil Femke	Femke 2	Femme 2
Roza 120	Roza 121	

4.3 Overige relaties

Op basis van DNA met behulp van het programma `calc_grm` (Calus & Vandenplas, 2016) zijn de relaties tussen alle runderen vastgesteld (Figuur 4.2). De relatie tussen moeder en nakomeling op basis van stambomen is 0,5. Een dergelijk getal wordt ook verwacht wanneer de relatie tussen moeder en nakomeling op basis van DNA wordt uitgerekend. De 21 moeder-nakomeling combinaties worden wederom geïdentificeerd (Figuur 4.2). Voor half-zussen wordt een relatie van 0,25 verwacht. Op basis van wat er bekend is qua afstamming, zijn een aantal half-zussen aannemelijk en een aantal vastgestelde relaties op basis van DNA onverwacht.



Figuur 4.2 DNA relaties tussen runderen. \square = moeder-nakomeling, \star = aannemelijk half-zussen, \bullet = onverwacht hoge relatie op basis van wat er bekend is qua stamboom.

4.4 Samenvatting bevindingen vaststellen familiebanden

Op basis van DNA zijn alle moeder-nakomeling combinaties die bekend zijn, geïdentificeerd en daarmee zijn de diverse moederlijnen aanwezig in de veestapel van familie van der Veen geverifieerd met DNA.

Andere familiebanden werden tevens inzichtelijk gemaakt met behulp van DNA. Hierbij werden wederom alle moeder-nakomeling combinaties geverifieerd. In verband met incomplete stamboomgegevens, kunnen er geen harde uitspraken gedaan worden over de andere familiebanden. Een redelijk aantal maternale en paternale half-zus relaties zijn echter aannemelijk.

Literatuur

- Boschma, N. and P. van der Veen. 2009. Behoud de witrik voor Nederland. Rapportage projectnummer 7, in opdracht van Stichting "de Witrik", Lelystad, 27-11-2009.
- Calus, M.P.L. and J. Vandenplas. 2016. Calc_grm – a program to compute pedigree, genomic, and combined relationship matrices. ABGC, Wageningen UR Livestock Research
- Hayes, B.J. 2011. Technical note: Efficient parentage assignment and pedigree reconstruction with dense single nucleotide polymorphism data. *J. Dairy Sci.*, 94(4), 2114-2117, doi:10.3168/jds.2010-3896
- Hulsegge, B., M. Schoon, J.J. Windig, M. Neuteboom, S.J. Hiemstra and A. Schurink. 2019. Development of a genetic tool for determining breed purity of cattle. *Livest. Sci.*, 223, 60-67, <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2019.03.002>
- Pritchard, J.K., M. Stephens and P. Donnelly. 2000. Inference of population structure using multilocus genotype data. *Genetics*, 155(2), 945-959

Bijlage 1 Individuele vergelijking tussen geobserveerde kleur, verwacht en geobserveerd genotype per rund

Sample_Name	Naam	Levensnummer	Extension	Dilution	KleurcodeCRV	KleurVDV	zwart_rood	Extension	EuroG10K	zwart_roodVDV	ExtensionVDV	EuroG10K	vaal	Dilution	PMEL_1	vaalVDV	DilutionVDV	donker_lichtVDV	donker_lichtvaal	PMEL_1
MRY_4239		NL 9304 4239 9		D/D	VB	bont vaal licht			AG			AG	ja	D/D of D/d+	DD	ja	D/D of D/d+	I	D/D	DD
MRY_0018	Diana 16	NL 6626 0018 3		D/d+	VB	bont vaal donker			AG			AG	ja	D/D of D/d+	ID	ja	D/D of D/d+	d	D/d+	ID
MRY_0030	Hielke 12	NL 6626 0030 9		D/d+	VB	bont vaal donker			AG			AG	ja	D/D of D/d+	ID	ja	D/D of D/d+	d	D/d+	ID
MRY_3826	Koldaarder Klaske 3	NL 6859 3826 1		D/d+	VB	bont vaal donker			AG			AG	ja	D/D of D/d+	ID	ja	D/D of D/d+	d	D/d+	ID
MRY_3830	Koldaarder Hanna 104	NL 6859 3038 0		D/d+	VB	bont vaal donker			GG			GG	ja	D/D of D/d+	ID	ja	D/D of D/d+	d	D/d+	ID
MRY_4236	Koldaarder Hanna 101	NL 9303 4236 8		D/d+	VB	bont vaal donker			GG			GG	ja	D/D of D/d+	ID	ja	D/D of D/d+	d	D/d+	ID
MRY_4237	Koldaarder Hanna 103	NL 9303 4237 5		D/d+	VB	bont vaal donker			GG			GG	ja	D/D of D/d+	ID	ja	D/D of D/d+	d	D/d+	ID
MRY_4243		NL 9305 4243 8		D/d+	VB	bont vaal donker			AG			AG	ja	D/D of D/d+	ID	ja	D/D of D/d+	d	D/d+	ID
MRY_4641	Hela 8	NL 3808 4641 2		D/d+	VB	bont vaal donker			AG			AG	ja	D/D of D/d+	ID	ja	D/D of D/d+	d	D/d+	ID
MRY_4713	Minneke 43	NL 4290 4713 0		D/d+	VB	bont vaal donker			AG			AG	ja	D/D of D/d+	ID	ja	D/D of D/d+	d	D/d+	ID
MRY_4714	Diana 5	NL 4290 4714 7		D/d+	VB	witrik vaal donker			AG			AG	ja	D/D of D/d+	ID	ja	D/D of D/d+	d	D/d+	ID
MRY_4885	Mieneke 224	NL 7275 4885 4		D/d+	VB	witrik vaal donker			AG			AG	ja	D/D of D/d+	ID	ja	D/D of D/d+	d	D/d+	ID
MRY_4914	Mieneke 324	NL 7275 4914 3		D/d+	VB	witrik vaal donker			GG			GG	ja	D/D of D/d+	ID	ja	D/D of D/d+	d	D/d+	ID
MRY_4657	Mienke 124	NL 3808 4657 5		D/d+	VB	witrik vaal donker			GG			GG	ja	D/D of D/d+	ID	ja	D/D of D/d+	d	D/d+	ID
MRY_4937	Diana 15	NL 7275 4937 6		D/d+	VB	witrik vaal blauw			AG			AG	ja	D/D of D/d+	ID	ja	D/D of D/d+	d	D/d+	ID
MRY_0020	Mienke 325	NL 6626 0020 8	Ed/Ed	D/d+	AZ	witrik vaal blauw	zwart	Ed/Ed of Ed/e	GG			GG	nee	d+/d+	ID	ja	D/D of D/d+			ID
MRY_3785	Verhil Femke	NL 4704 3785 6			AR	witrik rood	zwart	e/e		rood	e/e		nee	d+/d+	II	nee	d+/d+			
MRY_4909	Diana 110	NL 7275 4909 7	Ed/e	d+/d+	AZ	witrik blauw	zwart	Ed/Ed of Ed/e	AG			AG	nee	d+/d+	II	nee	d+/d+			II
MRY_5036	Mieneke 143	NL 7306 5036 4	Ed/e	D/d+	AZ	witrik vaal donker	zwart	Ed/Ed of Ed/e	AG			AG	nee	d+/d+	ID	ja	D/D of D/d+	d	D/d+	ID
MRY_1606	Wegtertje	NL 4717 1636 9	e/e	d+/d+	RB	bont rood	rood	e/e	AA	rood	e/e	AA	nee	d+/d+	II	nee	d+/d+			II
MRY_4249		NL 9306 4249 0	Ed/e	d+/d+	ZB	bont zwart	zwart	Ed/Ed of Ed/e	AG	zwart	Ed/Ed of Ed/e	AG	nee	d+/d+	II	nee	d+/d+			II
MRY_5056	Roza 121	NL 7306 5054 2	e/e	d+/d+	RB	bont rood	rood	e/e	AA	rood	e/e	AA	nee	d+/d+	II	nee	d+/d+			II
MRY_5063	Nienke 315	NL 7306 5063 6	Ed/Ed	d+/d+	ZB	bont zwart	zwart	Ed/Ed of Ed/e	GG	zwart	Ed/Ed of Ed/e	GG	nee	d+/d+	II	nee	d+/d+			II
MRY_7127	Finke Gretha	NL 5480 7127 2	Ed/Ed	d+/d+	ZB	witrik blauw	zwart	Ed/Ed of Ed/e	GG			GG	nee	d+/d+	II	nee	d+/d+			II
MRY_0016	Nienke 116	NL 6626 0016 9	Ed/e	d+/d+	AZ	witrik blauw	zwart	Ed/Ed of Ed/e	AG			AG	nee	d+/d+	II	nee	d+/d+			II
MRY_0023	Femme 2	NL 6626 0023 9	Ed/e	d+/d+	AZ	witrik blauw	zwart	Ed/Ed of Ed/e	AG			AG	nee	d+/d+	II	nee	d+/d+			II
MRY_0031	Andrieske 23	NL 6626 0031 6	e/e	d+/d+	AR	witrik rood	rood	e/e	AA	rood	e/e	AA	nee	d+/d+	II	nee	d+/d+			II
MRY_4835	Roza 120	NL 5190 4835 5	e/e	d+/d+	AR	witrik rood	rood	e/e	AA	rood	e/e	AA	nee	d+/d+	II	nee	d+/d+			II
MRY_4864	Wegtertje 225	NL 5199 4864 4	e/e	d+/d+	AR	witrik rood	rood	e/e	AA	rood	e/e	AA	nee	d+/d+	II	nee	d+/d+			II
MRY_4875	Diana 15	NL 5197 4875 8	Ed/e	d+/d+	AZ	witrik blauw	zwart	Ed/Ed of Ed/e	AG			AG	nee	d+/d+	II	nee	d+/d+			II
MRY_4882	Nienke 115	NL 5203 4882 4	e/e	d+/d+	AR	witrik rood	rood	e/e	AA	rood	e/e	AA	nee	d+/d+	II	nee	d+/d+			II
MRY_4910	Wegtertje 236	NL 7275 4910 5	e/e	d+/d+	AR	witrik rood	rood	e/e	AA	rood	e/e	AA	nee	d+/d+	II	nee	d+/d+			II
MRY_4913	Grietje 20	NL 7275 4913 6	Ed/Ed	d+/d+	AZ	witrik blauw	zwart	Ed/Ed of Ed/e	GG			GG	nee	d+/d+	II	nee	d+/d+			II
MRY_4930	Andrieske 3	NL 7275 4930 7	e/e	d+/d+	AR	witrik rood	rood	e/e	AA	rood	e/e	AA	nee	d+/d+	II	nee	d+/d+			II
MRY_4939	Wegter 13	NL 7275 4939 0	e/e	d+/d+	AR	witrik rood	rood	e/e	AA	rood	e/e	AA	nee	d+/d+	II	nee	d+/d+			II
MRY_4948	Femme 2	NL 9258 4948 1	Ed/e	d+/d+	AZ	witrik blauw	zwart	Ed/Ed of Ed/e	AG			AG	nee	d+/d+	II	nee	d+/d+			II
MRY_4957	Nienke 215	NL 9258 4957 5	Ed/e	d+/d+	AZ	witrik blauw	zwart	Ed/Ed of Ed/e	AG			AG	nee	d+/d+	II	nee	d+/d+			II
MRY_4989	Wegtertje 436	NL 9258 4989 2	Ed/e	d+/d+	AZ	witrik blauw	zwart	Ed/Ed of Ed/e	AG			AG	nee	d+/d+	II	nee	d+/d+			II
MRY_5021	Andrieske 13	NL 7306 5021 8	e/e	d+/d+	AR	witrik rood	rood	e/e	AA	rood	e/e	AA	nee	d+/d+	II	nee	d+/d+			II
MRY_5022	Nienke 415	NL 7306 5022 5	e/e	d+/d+	AR	witrik rood	rood	e/e	AA	rood	e/e	AA	nee	d+/d+	II	nee	d+/d+			II
MRY_5024	Dirkina 115	NL 7306 5024 9	e/e	d+/d+	AR	witrik rood	rood	e/e	AA	rood	e/e	AA	nee	d+/d+	II	nee	d+/d+			II
MRY_5026	Wegtertje 336	NL 7306 5026 3	e/e	d+/d+	AR	witrik rood	rood	e/e	AA	rood	e/e	AA	nee	d+/d+	II	nee	d+/d+			II
MRY_5030	Diana 210	NL 7306 5030 2	e/e	d+/d+	AR	witrik rood	rood	e/e	AA	rood	e/e	AA	nee	d+/d+	II	nee	d+/d+			II
MRY_5047	Eline 4	NL 7306 5047 2	Ed/e	d+/d+	AZ	witrik zwart	zwart	Ed/Ed of Ed/e	AG	zwart	Ed/Ed of Ed/e	AG	nee	d+/d+	II	nee	d+/d+			II
MRY_5054	Mieneke 343	NL 7306 5054 2	Ed/e	d+/d+	AZ	witrik zwart	zwart	Ed/Ed of Ed/e	AG	zwart	Ed/Ed of Ed/e	AG	nee	d+/d+	II	nee	d+/d+			II
MRY_5058	Mieneke 125	NL 7306 5058 0	Ed/Ed	d+/d+	AZ	witrik blauw	zwart	Ed/Ed of Ed/e	GG			GG	nee	d+/d+	II	nee	d+/d+			II
MRY_5023	Niko 215	NL 7306 5023 2	niet rood		AR	witrik rood	rood	e/e	AG	rood	e/e	AG	nee	d+/d+		nee	d+/d+			

Sample_Name	Naam	Levensnummer	KleurcodeCRV	KleurVDV	witrik	lineback	Coloursided	witrikVDV	linebackVDV	ColoursidedVDV	bont	Spotting	ARS_BFGL	bontVDV	SpottingVDV	HAPMAP3i_ARS_BFGL	blauwVDV	Roan	HAPMAP25789_BTA_123396		
MRY_4239		NL 9304 4239 9	VB	bont vaal licht	nee			nee		Cs+/Cs+	ja	s/s	BB	ja	s/s	AB	AB	nee	r+/r+	AA	
MRY_0018	Diana 16	NL 6626 0018 3	VB	bont vaal donker	nee			nee		Cs+/Cs+	ja	s/s	BB	ja	s/s	AB	AA	nee	r+/r+	AB	
MRY_0030	Hielke 12	NL 6626 0030 9	VB	bont vaal donker	nee			nee		Cs+/Cs+	ja	s/s	AB	ja	s/s	AA	AA	nee	r+/r+	AB	
MRY_3826	Koldaarder Klaske 3	NL 6859 3826 1	VB	bont vaal donker	nee			nee		Cs+/Cs+	ja	s/s	AB	ja	s/s	AB	BB	nee	r+/r+	AA	
MRY_3830	Koldaarder Hanna 104	NL 6859 3038 0	VB	bont vaal donker	nee			nee		Cs+/Cs+	ja	s/s	AA	ja	s/s	BB	AB	nee	r+/r+	AA	
MRY_4236	Koldaarder Hanna 101	NL 9303 4236 8	VB	bont vaal donker	nee			nee		Cs+/Cs+	ja	s/s	AB	ja	s/s	BB	AB	nee	r+/r+	AA	
MRY_4237	Koldaarder Hanna 103	NL 9303 4237 5	VB	bont vaal donker	nee			nee		Cs+/Cs+	ja	s/s	BB	ja	s/s	AA	AB	nee	r+/r+	AB	
MRY_4243		NL 9305 4243 8	VB	bont vaal donker	nee			nee		Cs+/Cs+	ja	s/s	AB	ja	s/s	AA	AA	nee	r+/r+	AA	
MRY_4641	Hela 8	NL 3808 4641 2	VB	bont vaal donker	nee			nee		Cs+/Cs+	ja	s/s		ja	s/s	AB		nee	r+/r+	AB	
MRY_4713	Minneke 43	NL 4290 4713 0	VB	bont vaal donker	nee			nee		Cs+/Cs+	ja	s/s	AA	ja	s/s	AA	AB	nee	r+/r+	AB	
MRY_4714	Diana 5	NL 4290 4714 7	VB	witrik vaal donker	nee			ja	Sp/Sp of Sp/S of Sp/s	Cs/Cs+	ja	s/s	AB	nee		AB	AA	nee	r+/r+	BB	
MRY_4885	Mieneke 224	NL 7275 4885 4	VB	witrik vaal donker	nee			ja	Sp/Sp of Sp/S of Sp/s	Cs/Cs+	ja	s/s	BB	nee		AA	BB	nee	r+/r+	AA	
MRY_4914	Mieneke 324	NL 7275 4914 3	VB	witrik vaal donker	nee			ja	Sp/Sp of Sp/S of Sp/s	Cs/Cs+	ja	s/s	AA	nee		AA	AA	nee	r+/r+	AA	
MRY_4657	Mieneke 124	NL 3808 4657 5	VB	witrik vaal donker	nee			ja	Sp/Sp of Sp/S of Sp/s	Cs/Cs+	ja	s/s of s/s	AB	nee		AA	AB	nee	r+/r+	AB	
MRY_4937	Diana 15	NL 7275 4937 6	VB	witrik blauw	nee			ja	Sp/Sp of Sp/S of Sp/s	Cs/Cs+	ja	s/s	AB	nee		AB	AA	ja	R/r+	AB	
MRY_0020	Mieneke 325	NL 6626 0020 8	AZ	witrik vaal blauw	ja	Sp/Sp of Sp/S of Sp/s	Cs/Cs+	ja	Sp/Sp of Sp/S of Sp/s	Cs/Cs+	nee	S/S of S/s	AB	nee		AA		ja	R/r+	AA	
MRY_3785	Verbil Femke	NL 4704 3785 6	AR	witrik rood	ja	Sp/Sp of Sp/S of Sp/s	Cs/Cs+	ja	Sp/Sp of Sp/S of Sp/s	Cs/Cs+	nee	S/S of S/s		nee				nee			
MRY_4909	Diana 110	NL 7275 4909 7	AZ	witrik vaal blauw	ja	Sp/Sp of Sp/S of Sp/s	Cs/Cs+	ja	Sp/Sp of Sp/S of Sp/s	Cs/Cs+	nee	S/S of S/s	AA	nee		AA	AA	ja	R/r+	AB	
MRY_5036	Mieneke 143	NL 7306 5036 4	AZ	witrik vaal donker	ja	Sp/Sp of Sp/S of Sp/s	Cs/Cs+	ja	Sp/Sp of Sp/S of Sp/s	Cs/Cs+	nee	S/S of S/s	AB	nee		AA	AA	nee	r+/r+	AB	
MRY_1606	Wegtertje	NL 4717 1636 9	RB	bont rood	nee			nee		Cs+/Cs+	ja	s/s	BB	ja	s/s	AB	AA	nee	r+/r+	BB	
MRY_4249		NL 9306 4249 0	ZB	bont zwart	nee			nee		Cs+/Cs+	ja	s/s	AB	ja	s/s	AB	BB	nee	r+/r+	AA	
MRY_5056	Roza 121	NL 7306 5054 2	RB	bont rood	nee			nee		Cs+/Cs+	ja	s/s	AB	ja	s/s	AB	AB	nee	r+/r+	AA	
MRY_5063	Nienke 315	NL 7306 5063 6	ZB	bont zwart	nee			nee		Cs+/Cs+	ja	s/s	AB	ja	s/s	AA	AB	nee	r+/r+	AB	
MRY_7127	Fimke Gretha	NL 5480 7127 2	ZB	witrik blauw	nee			ja	Sp/Sp of Sp/S of Sp/s	Cs/Cs+	ja	s/s	AA	nee		AA	AA	ja	R/r+	AB	
MRY_0016	Nienke 116	NL 6626 0016 9	AZ	witrik blauw	ja	Sp/Sp of Sp/S of Sp/s	Cs/Cs+	ja	Sp/Sp of Sp/S of Sp/s	Cs/Cs+	nee	S/S of S/s	AB	nee		AA	AA	ja	R/r+	AB	
MRY_0023	Femme 2	NL 6626 0023 9	AZ	witrik blauw	ja	Sp/Sp of Sp/S of Sp/s	Cs/Cs+	ja	Sp/Sp of Sp/S of Sp/s	Cs/Cs+	nee	S/S of S/s	AB	nee		AA		ja	R/r+	AB	
MRY_0031	Andrieske 23	NL 6626 0031 6	AR	witrik rood	ja	Sp/Sp of Sp/S of Sp/s	Cs/Cs+	ja	Sp/Sp of Sp/S of Sp/s	Cs/Cs+	nee	S/S of S/s	AB	nee		AA	AA	nee	r+/r+	AA	
MRY_4835	Roza 120	NL 5190 4835 5	AR	witrik rood	ja	Sp/Sp of Sp/S of Sp/s	Cs/Cs+	ja	Sp/Sp of Sp/S of Sp/s	Cs/Cs+	nee	S/S of S/s		nee		AA		nee	r+/r+	AB	
MRY_4864	Wegtertje 225	NL 5199 4864 4	AR	witrik rood	ja	Sp/Sp of Sp/S of Sp/s	Cs/Cs+	ja	Sp/Sp of Sp/S of Sp/s	Cs/Cs+	nee	S/S of S/s		nee		AA	AA	nee	r+/r+	AB	
MRY_4875	Diana 15	NL 5197 4875 8	AZ	witrik vaal blauw	ja	Sp/Sp of Sp/S of Sp/s	Cs/Cs+	ja	Sp/Sp of Sp/S of Sp/s	Cs/Cs+	nee	S/S of S/s	AB	nee		AA	AB	ja	R/r+	AB	
MRY_4882	Nienke 115	NL 5203 4882 4	AR	witrik rood	ja	Sp/Sp of Sp/S of Sp/s	Cs/Cs+	ja	Sp/Sp of Sp/S of Sp/s	Cs/Cs+	nee	S/S of S/s	AB	nee		AA	AB	nee	r+/r+	AB	
MRY_4910	Wegtertje 236	NL 7275 4910 5	AR	witrik rood	ja	Sp/Sp of Sp/S of Sp/s	Cs/Cs+	ja	Sp/Sp of Sp/S of Sp/s	Cs/Cs+	nee	S/S of S/s	AB	nee		AA	AA	nee	r+/r+	AB	
MRY_4913	Grietje 20	NL 7275 4913 6	AZ	witrik blauw	ja	Sp/Sp of Sp/S of Sp/s	Cs/Cs+	ja	Sp/Sp of Sp/S of Sp/s	Cs/Cs+	nee	S/S of S/s	AB	nee		AA	AA	ja	R/r+	AA	
MRY_4930	Andrieske 3	NL 7275 4930 7	AR	witrik rood	ja	Sp/Sp of Sp/S of Sp/s	Cs/Cs+	ja	Sp/Sp of Sp/S of Sp/s	Cs/Cs+	nee	S/S of S/s	AB	nee		AA	AA	nee	r+/r+	AA	
MRY_4939	Wegter 13	NL 7275 4939 0	AR	witrik rood	ja	Sp/Sp of Sp/S of Sp/s	Cs/Cs+	ja	Sp/Sp of Sp/S of Sp/s	Cs/Cs+	nee	S/S of S/s	AA	nee		AB	AB	nee	r+/r+	AA	
MRY_4948	Femme 2	NL 9258 4948 1	AZ	witrik blauw	ja	Sp/Sp of Sp/S of Sp/s	Cs/Cs+	ja	Sp/Sp of Sp/S of Sp/s	Cs/Cs+	nee	S/S of S/s	AA	nee		AA	AA	ja	R/r+	AB	
MRY_4957	Nienke 215	NL 9258 4957 5	AZ	witrik blauw	ja	Sp/Sp of Sp/S of Sp/s	Cs/Cs+	ja	Sp/Sp of Sp/S of Sp/s	Cs/Cs+	nee	S/S of S/s	AB	nee		AA	AB	ja	R/r+	AB	
MRY_4989	Wegtertje 436	NL 9258 4989 2	AZ	witrik blauw	ja	Sp/Sp of Sp/S of Sp/s	Cs/Cs+	ja	Sp/Sp of Sp/S of Sp/s	Cs/Cs+	nee	S/S of S/s	AB	nee		AA	AB	ja	R/r+	AB	
MRY_5021	Andrieske 13	NL 7306 5021 8	AR	witrik rood	ja	Sp/Sp of Sp/S of Sp/s	Cs/Cs+	ja	Sp/Sp of Sp/S of Sp/s	Cs/Cs+	nee	S/S of S/s	AB	nee		AA	AA	nee	r+/r+	AA	
MRY_5022	Nienke 415	NL 7306 5022 5	AR	witrik rood	ja	Sp/Sp of Sp/S of Sp/s	Cs/Cs+	ja	Sp/Sp of Sp/S of Sp/s	Cs/Cs+	nee	S/S of S/s	AB	nee		AA	AA	nee	r+/r+	AB	
MRY_5024	Dirkina 115	NL 7306 5024 9	AR	witrik rood	ja	Sp/Sp of Sp/S of Sp/s	Cs/Cs+	ja	Sp/Sp of Sp/S of Sp/s	Cs/Cs+	nee	S/S of S/s	AB	nee		AB	AA	nee	r+/r+	BB	
MRY_5026	Wegtertje 336	NL 7306 5026 3	AR	witrik rood	ja	Sp/Sp of Sp/S of Sp/s	Cs/Cs+	ja	Sp/Sp of Sp/S of Sp/s	Cs/Cs+	nee	S/S of S/s	AA	nee		AA	AA	nee	r+/r+	AB	
MRY_5030	Diana 210	NL 7306 5030 2	AR	witrik rood	ja	Sp/Sp of Sp/S of Sp/s	Cs/Cs+	ja	Sp/Sp of Sp/S of Sp/s	Cs/Cs+	nee	S/S of S/s	AB	nee		AA	AA	nee	r+/r+	AB	
MRY_5047	Eline 4	NL 7306 5047 2	AZ	witrik zwart	ja	Sp/Sp of Sp/S of Sp/s	Cs/Cs+	ja	Sp/Sp of Sp/S of Sp/s	Cs/Cs+	nee	S/S of S/s	AA	nee		AA	AA	nee	r+/r+	AB	
MRY_5054	Mieneke 343	NL 7306 5054 2	AZ	witrik zwart	ja	Sp/Sp of Sp/S of Sp/s	Cs/Cs+	ja	Sp/Sp of Sp/S of Sp/s	Cs/Cs+	nee	S/S of S/s	AB	nee		AA	AA	nee	r+/r+	AB	
MRY_5058	Mieneke 125	NL 7306 5058 0	AZ	witrik blauw	ja	Sp/Sp of Sp/S of Sp/s	Cs/Cs+	ja	Sp/Sp of Sp/S of Sp/s	Cs/Cs+	nee	S/S of S/s	AA	nee		AA	AA	ja	R/r+	AB	
MRY_5023	Niko 215	NL 7306 5023 2	AR	witrik rood	ja	Sp/Sp of Sp/S of Sp/s	Cs/Cs+	ja	Sp/Sp of Sp/S of Sp/s	Cs/Cs+	nee	S/S of S/s	AB	nee		AA		nee	r+/r+	AB	

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



CGN
Postbus 338
6700 AH Wageningen
cgn@wur.nl
www.wur.nl/cgn
Wageningen University & Research
CGN rapport 43

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.

