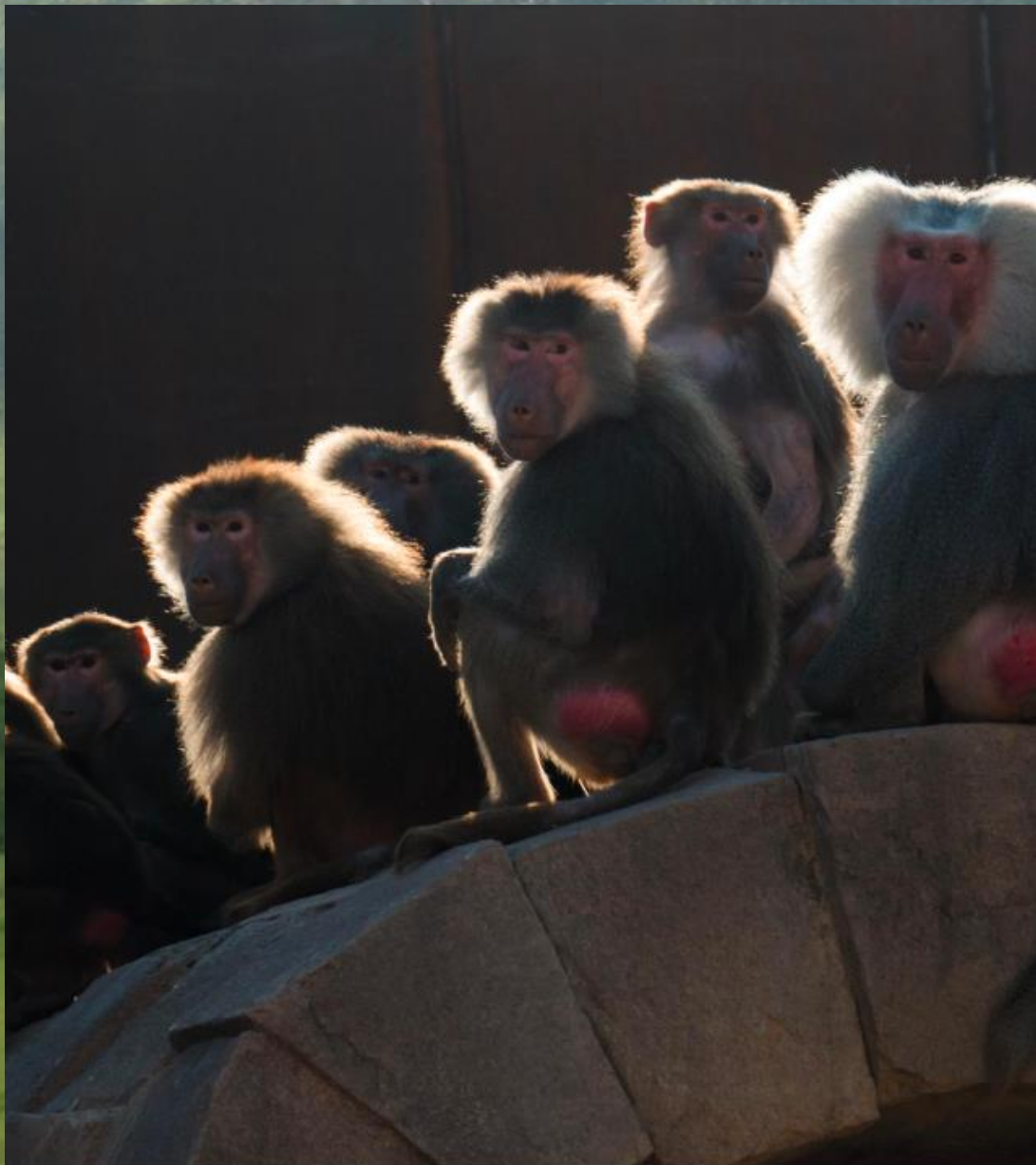


De aanwezigheid van inteelt bij mantelbavianen (*Papio hamadryas*) in dierenparken van Nederland

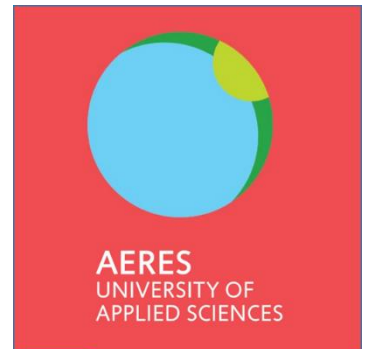
Een onderzoek naar de genetische diversiteit in DierenPark Amersfoort en WILDLANDS Adventure Zoo Emmen.



Arie Ebbenhorst

De aanwezigheid van inteelt bij mantelbavianen (*Papio hamadryas*) in dierenparken van Nederland

Een onderzoek naar de genetische diversiteit in DierenPark Amersfoort en WILDLANDS Adventure Zoo Emmen.



Afstudeerwerkstuk



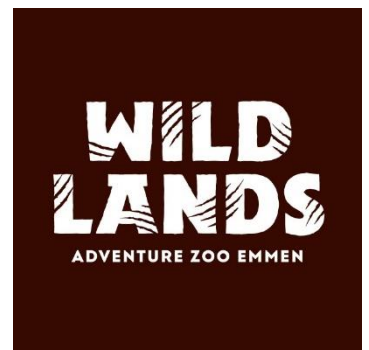
Student: Arie Ebbenhorst

Opleiding: Toegepaste Biologie

Plaats: Hoogland

Datum: 25-07-2022

Afstudeerdocent: Bram Knecht



In opdracht van: Aeres Hogeschool Almere & Vrije Universiteit Amsterdam (Mirte Bosse)



Voorwoord

Mijn naam is Arie Ebbenhorst, ik heb dit verslag geschreven als afronding van mijn hbo-opleiding Toegepaste Biologie op Aeres Hogeschool Almere. Mijn opdrachtgever is Mirte Bosse van de Vrije Universiteit van Amsterdam. Ik wil haar tevens ook bedanken voor de begeleiding en advies dat ik van haar heb ontvangen tijdens de uitvoering van mijn afstudeerwerkstuk. Daarnaast wil ik ook mijn afstudeerdocent Bram Knegt bedanken voor de feedback die ik van hem heb gekregen op de verschillende teksten die ik heb ingeleverd.

Inhoudsopgave

Voorwoord	1
Samenvatting.....	3
Summary	4
1. Inleiding	5
1.1 Inteelt	5
1.2 Mantelbavianen.....	6
1.3 Mantelbavianen in Nederlandse dierenparken	7
2. Materiaal en methode	9
2.1 Dataset.....	9
2.2 Analysemethoden.....	10
2.3 Stamboek analyse.....	12
3. Resultaten	13
3.1 Principale componenten analyse	13
3.2 Genetische diversiteit analyse	14
3.3 Homozygositeit regio's analyse.....	16
3.4 Stamboek analyse.....	17
4. Discussie	19
4.1 Genetische diversiteit tussen de populaties	19
4.2 Genetische diversiteit binnen de individuen	20
4.3 Verwantschap tussen de ouders	20
4.4 Nakomelingen van geïntroduceerde mantelbavianen	21
5. Conclusie en aanbevelingen.....	22
Conclusie	22
Aanbevelingen	23
6. Bronnenlijst.....	24
7. Bijlages	26
7.1 Codes PLINK	26
7.2 Lijst van bemonsterde mantelbavianen	27
7.3 Homozygositeit regio's	31

Samenvatting

Sinds 1974 worden er mantelbavianen gehouden in WILDLANDS Adventure Zoo Emmen. Om de genetische diversiteit te verbeteren werden er in 1990 drie vrouwelijke apen uit een dierenpark in Frankfurt geïntroduceerd in de populatie. Na groei van de populatie zijn er 53 bavianen naar DierenPark Amersfoort overgezet in 2000. In 2001 zijn er nog eens tien bavianen vanuit Keulen overgezet naar Emmen. Het doel van deze introducties was om inteelt te voorkomen. Om te kijken of dit ook daadwerkelijk effectief is, wordt de volgende hoofdvraag gesteld:

Hoe groot is het probleem van inteelt binnen de populaties mantelbavianen (*Papio hamadryas*) in WILDLANDS Adventure Zoo Emmen en DierenPark Amersfoort?

Om hoofdvraag te beantwoorden is gebruik gemaakt van een dataset met genetische informatie van 150 mantelbavianen uit WILDLANDS Adventure Zoo Emmen en Dierenpark Amersfoort. Daarnaast is ook een stamboek gebruikt met gegevens over alle mantelbavianen die in Emmen geleefd hebben. Met behulp van deze informatie worden de volgende vier deelvragen beantwoord:

1. Hoe genetisch verschillend zijn de mantelbavianen uit de verschillende populaties?
2. Hoe groot is de genetische diversiteit per individu?
3. Hoe genetisch verwant zijn de ouders van de verschillende mantelbavianen?
4. Wat is het aantal nakomelingen van de geïntroduceerde mantelbavianen uit Frankfurt en Keulen in vergelijking met de originele groep?

De 150 mantelbavianen zijn verdeeld over vijf groepen gebaseerd op geboorte locatie en de herkomst van de ouders. De groepen zijn de Amersfoortpopulatie, Emmenpopulatie, Keulenpopulatie, de eerste generatie nakomelingen van Keulen en de tweede generatie nakomelingen van Keulen.

In de eerste generatie nakomelingen van Keulen is de minste inteelt gevonden, deze groep bestaat uit apen waarvan één ouder uit Keulen komt en de andere uit Emmen. In de Keulenpopulatie was ook weinig inteelt waarneembaar. In DierenPark Amersfoort is de meeste inteelt gevonden, meer dan in WILDLANDS Adventure Zoo Emmen. Dit komt deels omdat deze populatie begon met een kleinere genenpool, daarnaast heeft de introductie van dertien Mantelbavianen uit Frankfurt en Keulen de genetische diversiteit in Emmen verhoogd.

Echter is te zien dat deze genetische diversiteit weer afzwakt in de tweede generatie nakomelingen van Keulen ten opzichte van de eerste generatie. Daarom wordt aanbeveelt om de introductie van nieuwe mantelbavianen in Emmen voort te zetten op een regelmatig interval en in Amersfoort te beginnen met het introduceren van nieuwe mantelbavianen.

Summary

Since 1974, hamadryas baboons are kept in WILDLANDS Adventure Zoo Emmen. In order to improve the genetic diversity, three female monkeys from a zoo in Frankfurt were introduced into the population in 1990. After growth of the population 53 baboons were transferred to DierenPark Amersfoort in the year 2000. In 2001 another ten baboons were transferred from Cologne to Emmen. The purpose of these introductions was to prevent inbreeding. To see if this was actually effective, the following main question is asked:

How big is the problem of inbreeding within the populations of hamadryas baboons (*Papio hamadryas*) in WILDLANDS Adventure Zoo Emmen and DierenPark Amersfoort?

To answer this main question, a dataset with genetic information of 150 hamadryas baboons from WILDLANDS Adventure Zoo Emmen and DierenPark Amersfoort was used. In addition, a studbook was used containing information about all hamadryas baboons that have lived in Emmen. With the help of this information, the following four subquestions are answered:

1. How genetically different are the hamadryas baboons from the different populations?
2. How large is the genetic diversity for each individual?
3. How genetically related are the parents of the different hamadryas baboons?
4. What is the number of descendants of the introduced hamadryas baboons from Frankfurt and Cologne compared to the original group?

The 150 hamadryas baboons are divided into five groups based on birth location and origin of the parents. The groups are the Amersfoortpopulation, Emmenpopulation, Colognepopulation, the first generation descendants of Cologne and the second generation descendants of Cologne.

In the first generation descendants of Cologne, the least inbreeding was found, this group consists of monkeys of which one parent comes from Cologne and the other from Emmen. There was also little inbreeding in the Cologne population. In DierenPark Amersfoort, the most inbreeding was found, more than in WILDLANDS Adventure Zoo Emmen. This is partly due to the fact that this population started with a smaller gene pool and the introduction of thirteen hamadryas baboons from Frankfurt and Cologne increased the genetic diversity in Emmen.

However, it can be seen that this genetic diversity decreases again in the second generation descendants of Cologne compared to the first generation. Therefore, it is recommended that the introduction of new hamadryas baboons in Emmen be continued at regular intervals and to also begin introducing new baboons in Amersfoort.

1. Inleiding

Er wordt geschat dat 15 tot 37% van de diersoorten met uitsterven bedreigd wordt door klimaatverandering (Thomas et al., 2004). Ook andere problemen zoals het verlies van leefgebied worden voornamelijk door de mens veroorzaakt. De toename van deze problemen zal waarschijnlijk niet verdwijnen totdat de menselijke populatiegroei is gestabiliseerd, naar verwachting over 100 tot 200 jaar (Lees & Wilcken, 2009). Veel van de bedreigde diersoorten zullen na hun uitsterven in het wild, nog wel te vinden zijn in dierenparken. Deze dieren kunnen dan, als de omstandigheden zijn verbeterd, gebruikt worden voor herintroductie in het wild. Dit is echter een lastige procedure die veel tijd en geld kost (Beck et al., 1994).

Ook voor soorten die momenteel niet op uitsterven staan, kan de gehouden populatie in de toekomst belangrijk worden. Daarom werken dierentuinen binnen Europa samen om ernaar te streven hun gehouden populaties zo genetisch gezond mogelijk te houden. Er zijn al veel verschillende organisaties en programma's om genetische diversiteit in dierenparken te verbeteren en diersoorten weer te herintroduceren in hun natuurlijke leefomgeving (Lees & Wilcken, 2009). In Europa wordt dit grotendeels gereguleerd door de European Association of Zoos and Aquaria (EAZA). Voor de herverdeling van dieren is een genetisch gezonde populatie belangrijk.

Dierenparken bestaan uit een grote hoeveelheid kleine populaties van dieren. De kleine populaties herbergen weinig genetische diversiteit, en geven een hoge kans op inteelt (Keller & Waller, 2002). Dit kan een negatief effect hebben op de genetische gezondheid van de populatie. Een ongezonde populatie is niet meer interessant voor herintroductie in het wild of introductie naar andere dierenparken.

1.1 Inteelt

Inteelt is het paren van individuen die verwant zijn via gemeenschappelijke voorouders (The Editors of Encyclopaedia Britannica, 2019). De intensiteit van inteelt wordt bepaald door de verwantschap tussen de individuen. Nakomelingen van een kruising tussen een broer en een zus ondervinden gemiddeld meer effecten van inteelt dan de nakomelingen van neven en nichten. Inteelt zorgt ervoor dat de genetische samenstelling van de nakomelingen minder divers is. Individuen die in de laatste 6 generaties geen gemeenschappelijke voorouder hebben, worden als niet-verwant beschouwd (Vogt et al., 2018).

Door kruising van twee individuen met een gemeenschappelijke voorouder, is de kans groter dat de nakomelingen homozygoot zijn. Dat betekent dat de nakomeling identieke allelen van hetzelfde gen heeft. Als dit allel recessief is dan zal hij bij de nakomeling actief worden en kan het tot een eigenschap leiden die niet tot uiting kwam bij de voorouders. Zo'n recessief allelvariant dat codeert voor een nieuwe eigenschap kan een positieve invloed hebben op de fitness van het individu, maar meestal is het negatief (Vogt et al., 2018).

Een bekend voorbeeld van inteelt is de koninklijke familie van het huis Habsburg. Omdat deze familie hun bloedlijn zuiver wilde houden, werden alle huwelijken binnen de adel gesloten. Dit leidde tot een hoog percentage inteelt, wat voornamelijk te zien was aan de uitgesproken kaaklijn (extreme onderbeet) die de familie kenmerkte. Uit onderzoek blijkt dat door inteelt ook de geboorte- en kindersterfte in de familie steeg (Ceballos & Álvarez, 2013).

Inteelt komt vooral voor in kleine populaties. In deze populaties is de kans groter dat als een individu paart met een willekeurig ander individu, dit andere individu familie is. Inteelt is op korte termijn gevaarlijk voor een populatie, in tegenstelling tot andere genetische bedreigingen zoals genetische drift (Keller & Waller, 2002). Doordat meer individuen in een populatie homozygoot worden, is de kans groter dat een allel gefixeerd wordt, dat wil zeggen dat zich nog maar één variant van een bepaald gen in een populatie bevindt. Dit leidt tot minder genetische diversiteit en een lager aanpassingsvermogen van de populatie.

Het meten van inteelt kan op verschillende manieren gedaan worden. Er kan een schatting gemaakt worden op basis van het bijgehouden stamboek van een populatie. Ook kan inteelt worden berekend met behulp van genetische informatie. Door verschillen en overeenkomsten in het DNA kan de verwantschap tussen individuen worden achterhaald. Bij deze methode worden enkel-nucleotide-polymorfies (SNPs) gebruikt. Dit zijn mutatie van een enkele nucleotide in het DNA (M. Bosse, persoonlijke communicatie, 25 juli 2022).

1.2 Mantelbavianen

De mantelbaviaan (*Papio hamadryas*) is een groepsdier dat in het wild voorkomt in de hoorn van Afrika en het zuidwesten van het Arabische schiereiland. De apensoort loopt momenteel geen gevaar op uitsterven en groeit in populatiegrootte (IUCN, 2021). Er heeft hierom nog geen herintroductie vanuit dierenparken plaatsgevonden, maar er is kans dat dit, als de apensoort in gevaar komt, nodig is in de toekomst. De dieren leven in een troep van 50 tot 250 apen. Een troep foerageert over een gebied van minstens 30 km², hierbij leggen ze per dag meer dan 7,5 km af. Mantelbavianen zijn omnivoren, maar eten vooral noten, bladeren en zaden (Swedell, 2002b). Deze troepen bestaan uit verschillende groepen met in elke groep één dominante man, één of meer vrouwen en soms volgeling mannen. Naast deze groepen leven er ook nog solitaire mannen in de troep, die niet verbonden zijn met één van de groepen. Sociale interactie in een groep komt meestal voor tussen de dominante man en de vrouwen (Swedell, 2002a).

Voortplanting komt meestal voor tussen de dominante man en de vrouwen in zijn groep. Vanaf ongeveer 9 jaar kunnen mannen nakomelingen krijgen. Vanaf het zestiende levensjaar van dominante mannen is de kans groot dat ze worden verslagen door jongere individuen en hun groep kwijt raken. De gemiddelde man heeft hierdoor ongeveer 3 tot 6 jaar om nakomelingen te krijgen. Vrouwelijke mantelbavianen bevallen gemiddeld bij een leeftijd van 6.1 jaar. Als er geen miskraam plaatsvindt, kan een vrouw na een geboorte gemiddeld 14 maanden geen nieuwe nakomelingen krijgen. (Sigg et al., 1982).

1.3 Mantelbavianen in Nederlandse dierenparken

Sinds 1974 worden er mantelbavianen gehouden in WILDLANDS Adventure Zoo Emmen. Deze populatie bestond uit vier mannelijke en eenentwintig vrouwelijke bavianen die in het wild waren geboren. Om de genetische diversiteit te verbeteren werden er in 1990 drie vrouwelijke apen uit een dierenpark in Frankfurt geïntroduceerd in de populatie, twee daarvan zijn datzelfde jaar overleden wegens onbekende redenen en hebben geen nakomelingen gehad. Na groei van de populatie zijn er 53 bavianen naar DierenPark Amersfoort overgezet in 2000. Deze nieuwe populatie bestond geheel uit individuen uit Emmen, er zaten geen apen uit Frankfurt bij. In 2001 zijn er nog eens tien vrouwelijke bavianen vanuit een dierenpark in Keulen overgezet naar Emmen. (Stumpel, 2017).

Tijdens een verhuizing van de mantelbavianen in 2016 is er van 115 individuen in Emmen bloed afgenomen. Dit bloed is onderzocht om te kijken of er ziektes in de populatie voorkwamen. In DierenPark Amersfoort is er ook bloed afgenomen van 50 individuen. Het bloed van deze 165 individuen is gebruikt om een SNP dataset te maken (Weetering, 2017).

In beide dierenparken in Nederland worden de bavianen gehouden in grote verblijven waarin de partnerkeuze tijdens de voortplanting niet wordt gereguleerd. In vele gevallen is het daarom ook niet duidelijk wie de ouders zijn van een nieuw geboren individu. Het is dus onduidelijk of inteelt voorkomt in de populaties. Hierdoor is er geen inzicht in de genetische gezondheid van de populaties, maar dit is wel belangrijk voor het voortbestaan van de dieren in de dierenparken en eventuele herintroductie in het wild. Om hierover meer duidelijkheid te krijgen wordt de volgende onderzoeksvraag gesteld: Hoe groot is het probleem van inteelt binnen de populaties mantelbavianen (*Papio hamadryas*) in WILDLANDS Adventure Zoo Emmen en DierenPark Amersfoort?

Om deze vraag te beantwoorden wordt een dataset gebruikt waarin enkel-nucleotide-polymorfie (SNP) data vanuit de twee dierenparken is verzameld in 2016. De volgende deelvragen worden gebruikt om de hoofdvraag te beantwoorden.

1. Hoe genetisch verschillend zijn de mantelbavianen uit de verschillende populaties?
2. Hoe groot is de genetische diversiteit per individu?

Deze genetische diversiteit hoeft echter niet per se aan te geven dat inteelt heeft plaatsgevonden bij de ouders van het individu. Het kan bijvoorbeeld ook ontstaan zijn door inteelt in eerdere generaties. Omdat het wel belangrijk is om te weten wanneer inteelt plaats heeft gevonden, wordt deelvraag 3 gesteld:

3. Hoe genetisch verwant zijn de ouders van de verschillende mantelbavianen?
4. Wat is het aantal nakomelingen van de geïntroduceerde mantelbavianen uit Frankfurt en Keulen in vergelijking met de originele groep?

De laatste deelvraag wordt gesteld om meer inzicht te krijgen in de effectiviteit van nieuwe mantelbavianen in een populatie introduceren. Door het aantal nakomelingen van de geïntroduceerde apen te vergelijken met dat van de originele groep, kan er worden gekeken of de nieuwe apen ook daadwerkelijk bijdragen aan de genetische diversiteit van de populatie of dat veranderingen een andere oorzaak hebben.

In een relatief kleine populatie die meerdere generaties met zichzelf kruist, wordt er verwacht dat er inteelt plaatsvindt. De populatie in Amersfoort bestaat uit een groep apen afkomstig vanuit Emmen, deze groep neemt naar verwachting slechts een klein deel van de genenpool van Emmen over, ook wel het founder effect genoemd (Mayr, 1999). Door een kleine groep met minder genetische diversiteit, komt in de populatie van Amersfoort inteelt waarschijnlijk vaker voor. Ook wordt verwacht dat de populatie in Emmen meer genetische diversiteit herbergt, omdat er twee groepen apen uit Duitsland zijn geïntroduceerd. Er wordt verwacht dat de genetische bijdrage van deze dieren relatief is aan het aantal individuen dat is geïntroduceerd. De populatie uit Keulen zal een grotere genetische bijdrage hebben omdat die uit meer apen bestond, al groeit de bijdrage ook naarmate de introductie langer geleden is. De genetische diversiteit binnen een individu zal naar verwachting het hoogste zijn in de eerste generatie nakomelingen van ouders uit Emmen en Duitsland, omdat hierbij de grootste genenpool beschikbaar is en bij latere generaties genen kunnen wegvallen. Het aantal nakomelingen van mantelbavianen uit Frankfurt en Keulen zal ongeveer gelijk zijn aan de originele groep, want naar verwachting zijn de geïntroduceerde apen goed in de populatie opgenomen. Als de geïntroduceerde apen een lager nakomelingen aantal hebben, dan komt dit waarschijnlijk doordat het de apen nog niet is gelukt om als dominante man een groep te leiden. Dominante mannen zouden meer nakomelingen moeten krijgen.

2. Materiaal en methode

2.1 Dataset

In 2016 is er tijdens een verhuizing van de mantelbavianen in WILDLANDS Adventure Zoo Emmen bloed afgenomen van alle apen ouder dan zes maanden (115 apen in totaal). Het doel hiervan was om ziektes op te sporen, maar daarnaast is het bloed ook gebruikt voor genetisch onderzoek. Voor dit onderzoek is er ook bloed afgenomen van 50 apen in DierenPark Amersfoort. (Weetering, 2017).

DNA is uit het bloed van de 165 bemonsterde apen geëxtraheerd en vervolgens genetisch gekarakteriseerd met behulp van de genotypering door sequencing (GBS) methode (Glaubitz et al., 2014). De GBS sequence fragmenten van elke mantelbaviaan zijn uitgelijnd op het referentie genoom van een anubisbaviaan (*Papio anubis*) (Weetering, 2017). Deze dataset is vervolgens verwerkt tot een SNP-dataset door varianten te extraheren (Weetering, 2017). Hierbij zijn 51823 polymorfe SNPs verzameld per mantelbaviaan. Hierbij is ten eerste gekeken naar de hoeveelheid ontbrekende data. Bij 15 mantelbavianen is er minder dan 80% van het totaal aantal SNPs gevonden, deze bavianen zijn uit de dataset gehaald. Ten tweede is er gekeken naar de frequentie waarbij de verschillende variaties voorkomen. SNPs waar minder dan 1% van de mantelbavianen een ander allel hebben dan de rest, zijn weggehaald uit de dataset. Deze SNPs zijn veroorzaakt door de verschillen tussen de mantelbaviaan en de anubisbaviaan en niet door variatie binnen de mantelbaviaanpopulaties. In totaal zijn 21116 SNPs weggehaald uit de dataset, en blijven er 150 apen met gemiddeld 90,1% van de 34600 SNPs over. De 150 apen die voor dit onderzoek gebruikt zijn staan in bijlage 7.2. De SNP-dataset werd in dit onderzoek gebruikt om meer informatie te verzamelen over de inteelt en verwantschap van mantelbavianen in Amersfoort en Emmen. (M. Bosse, persoonlijke communicatie, 10 juni 2022).

2.2 Analysemethoden

Om de hoofd- en deelvragen te beantwoorden werden er verschillende analyses uitgevoerd. Dit werd gedaan met behulp van het programma PLINK (Chang et al., 2015; Purcell et al., 2007; Purcell & Chang, 2022). Dit programma kan uitgevoerd worden als 'package' in de open source statistische software R project (R Core Team, 2022). PLINK is een open-source toolset voor associatieanalyse van volledige genomen. Het wordt gebruikt om efficiënt grootschalige analyses uit te voeren. Voor dit onderzoek werden drie verschillende analyses gebruikt; principale componenten analyse (PCA), heterozygositeit analyse (HET) en homozygote regio's analyse (ROH).

Deelvraag 1 vraagt hoe genetisch verschillend de mantelbavianen zijn uit de verschillende populaties. Om deze vraag te beantwoorden werd eerst naar totale populatiestructuur gekeken met behulp van een Principle Component Analysis (PCA) in PLINK. Dit is een factoranalyse waarbij variatie in de genetische data op een gereduceerde manier samengevat en weergegeven wordt. De variatie vanuit SNPs werd in een beperkte hoeveelheid assen (eigenvectoren) samengevat en per as werd berekend hoeveel variatie in de data door die as wordt verklaard. De twee belangrijkste eigenvectoren werden vervolgens tegen elkaar uitgezet, waarbij de verwachting was dat individuen uit dezelfde populatie bij elkaar clusteren als inderdaad het genetische verschil tussen populaties de belangrijkste factor is die structuur in de data veroorzaakt. Vervolgens werd een distance matrix gemaakt in PLINK waarin de genetische afstanden tussen alle paren van individuen in de dataset werden berekend op basis van de hoeveelheid verschillende genotypen (SNPs). De gemiddelde afstand van individuen binnen dezelfde populatie is vergeleken met de gemiddelde afstand van individuen tussen populaties om de mate van genetische divergentie te bepalen. (Purcell & Chang, z.d.-d). De codes die zijn gebruikt om de eerste deelvraag te beantwoorden staan in bijlage 7.1.1.

De heterozygositeit analyse werd gebruikt om de tweede deelvraag te beantwoorden. Met deze analyse is de genetische diversiteit per individu berekend. Er werd per individu gekeken naar de hoeveelheid markers die homozygoot en heterozygoot zijn. Een hoge hoeveelheid heterozygositeit geeft aan dat het individu een lage genetische diversiteit heeft (Purcell & Chang, z.d.-a). Het eindproduct van deze analyse was een inteelt coëfficiënt (F) van elke mantelbaviaan. Dit is een waarde tussen de min één en één die aangeeft of de heterozygositeit hoger of lager is dan verwacht. Een hoge waarde duidt op veel homozygote posities in het genoom, dit kan een gevolg zijn van inteelt. Een lage waarde duidt op veel heterozygote posities in het genoom. Om te kijken of de gegevens betrouwbaar zijn, werd er met behulp van een one-way ANOVA in PLINK een p-waarde berekend. Dit is een drempelwaarde voor de waarschijnlijkheid dat de waardes uit de heterozygositeit analyse ontstaan zijn per toeval (Bevans, 2022). De codes die zijn gebruikt om de tweede deelvraag te beantwoorden staan in bijlage 7.1.2.

De inteelt die met de heterozygositeit analyse wordt berekend hoeft niet per se te komen door inteelt bij de ouders, maar kan ook voorkomen door inteelt in eerdere generaties. Omdat het wel belangrijk is om te weten wanneer inteelt plaats heeft gevonden, wordt bij deelvraag 3 gekeken naar inteelt bij de ouders van de mantelbavianen.

Deelvraag 3 over hoe genetisch verwant de ouders van de verschillende mantelbavianen zijn is te beantwoorden door gebruik te maken van ROH. Hierbij wordt, per individu, gekeken of er lange stukken homozygoot zijn in het genoom. Dit geeft aan dat het individu deze stukken DNA van beide ouders heeft geërfd, wat een indicatie is van inteelt. De uitkomst van de analyse is informatie over waar er homozygote segmenten zitten, hoeveel segmenten dat zijn en hoe lang ze bij elkaar zijn. De hoeveelheid en lengte van de strengen homozygositeit zeggen iets over de mate van inteelt van het individu, en hoe verwant de ouders aan elkaar zijn. De verschillende individuen kunnen ook met elkaar vergeleken worden om een inzicht te krijgen in waar de meeste inteelt plaatsvindt. (Purcell & Chang, z.d.-c). De codes die zijn gebruikt om de derde deelvraag te beantwoorden staan in bijlage 7.1.3.

2.3 Stamboek analyse

Om de vierde deelvraag te beantwoorden wordt gebruik gemaakt van een stamboom analyse. Hiermee wordt gekeken naar het aantal nakomelingen van de geïntroduceerde mantelbavianen uit Frankfurt en Keulen ten opzichte van de totale populatie. Net als meer dan 1200 andere dierenparken wordt er bij WILDLANDS Adventure Zoo Emmen en DierenPark Amersfoort gebruik gemaakt van Zoological Information Management Software (ZIMS) (Species360, z.d.). Dit is een database waarin door en voor dierenparken informatie wordt verzameld over alle dieren in dierenparken en aquaria. Voor de mantelbavianen in Nederland wordt hier data ingevoerd zoals identiteitsnummer, geslacht, ouders, geboorte locatie en geboorte datum. De ZIMS database is alleen beschikbaar voor dierentuinen en aquaria.

Om de stamboom analyse in dit onderzoek uit te voeren is een Excel bestand van de ZIMS database toegestuurd door de coördinator van de bavianenpopulaties uit Emmen, J. Stumpel (2017). In dit bestand staat alle informatie over de mantelbavianen die in Emmen hebben geleefd tot 21 maart 2017. De resultaten van deze deelvraag zijn dus ook gebaseerd op de levende mantelbavianen op 21 maart 2017.

In figuur 2.1 is een voorbeeld te zien van de informatie van één mantelbaviaan. De dataset is niet compleet, van veel mantelbavianen geboren voor 1995 zijn de ouders niet bekend en van enkele andere apen is de vader onbekend. Bij mantelbavianen geboren tot 1990 is dit geen probleem aangezien voor die tijd geen apen uit Frankfurt en Keulen zijn geïntroduceerd.

25094580 Local ID: 332333									
Individual	Hamadryas baboon				Least Concern (LC)			Papio hamadryas	
Date in	Acquisition - Vendor/Local ID	Phy	Own	Reported By	Disposition - Recipient/Local ID	Phy	Own	Date Out	
21/3/1996	Birth/Hatch	In	In	EMMEN / 332333	Captive Born	-	-	-	
Sex / Contraception	Female/Animal Management(Active)			Birth Type	Wildlands Adventure Zoo Emmen				
Hybrid Status	Not a hybrid			Birth Location	21/3/1996 / 21Y,0M,0D				
Enclosure	Baboon arena			Birth Date / Age	[Tascha/EMMEN]				
Rearing	Parent			House Name	[332333/EMMEN]				
				Local ID	[77/a/EMMEN]				
				Tattoo	[0131-350A/EMMEN]				
				Transponder					
Dam	[GAN: 25102170 EMMEN / 332031]								
Sire	[GAN: 4507077 EMMEN / 332149]								

Figuur 2.1: ZIMS informatie van mantelbaviaan 332333 (Stumpel, 2017).

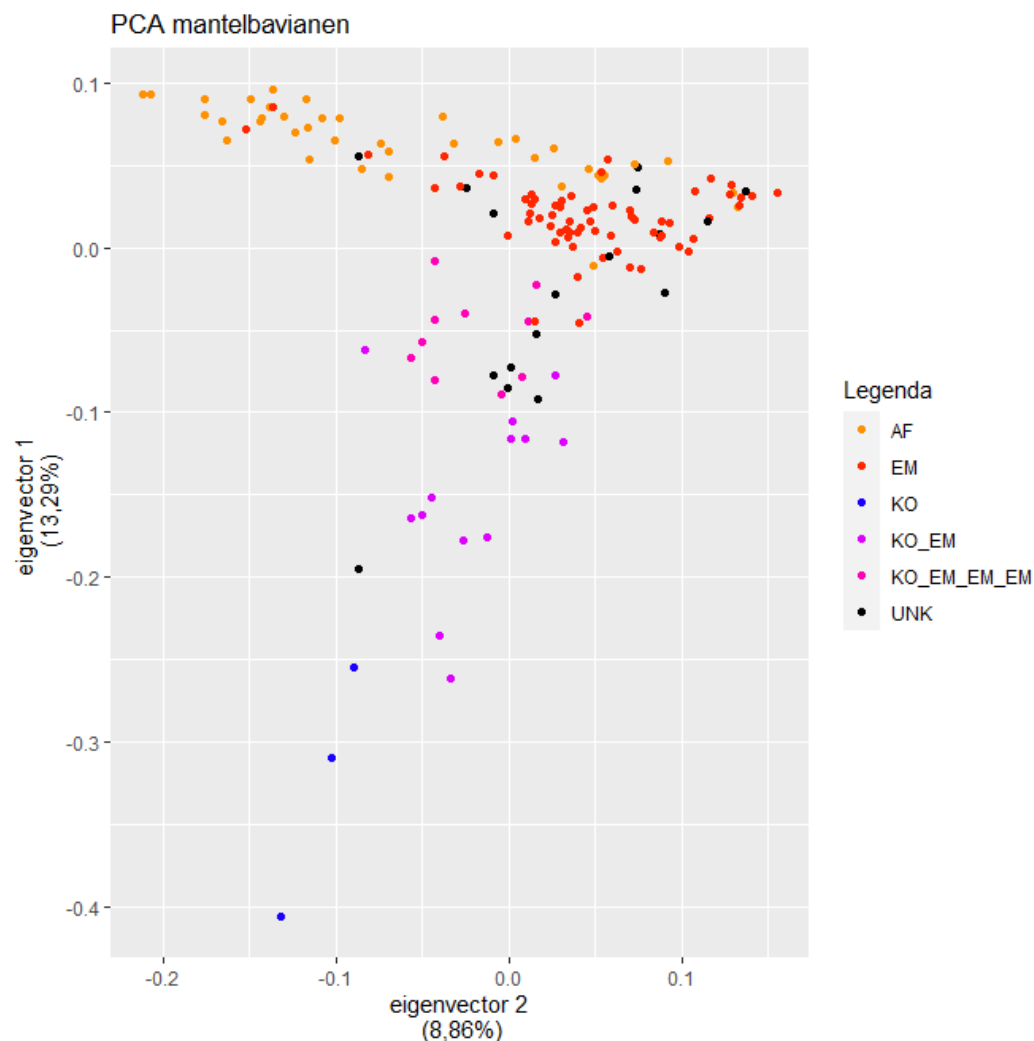
Met deze gegevens wordt bepaald wat het aantal nakomelingen van de geïntroduceerde mantelbavianen uit Frankfurt en Keulen is en hoe groot deel van de totale populatie van apen uit Frankfurt en Keulen afstamt.

3. Resultaten

Om beter inzicht te krijgen in de genetische gezondheid van mantelbavianen in Nederlandse dierentuinen, is de genetische samenstelling van 150 mantelbavianen onderzocht. Hierbij is gebruik gemaakt van een al bestaande SNP-dataset over de genetische samenstelling van 150 mantelbavianen in WILDLANDS Adventure Zoo Emmen en DierenPark Amersfoort en de ZISM database met informatie over alle mantelbavianen die gehuisvest waren in.

3.1 Principale componenten analyse

Om de genetische verschillen tussen de verschillende groepen mantelbavianen weer te geven is er een PCA uitgevoerd. In figuur 3.1 zijn de resultaten van deze analyse weergegeven in de vorm van een spreidingsdiagram. In deze diagram zijn de 150 mantelbavianen met elkaar vergeleken op basis van de twee eigenvectoren die de meeste variatie in de populatie verklaren. De twee eigenvectoren verklaren respectievelijk 13,29% en 8,86% van de variatie.



Figuur 3.1: Resultaat van de PCA, hierbij worden de verschillende bavianen onderverdeeld op basis van genetische overeenkomst langs de twee assen (eigenvectoren) die de meeste genetische variatie verklaren. De kleurcodering van de individuele bavianen is op basis van geboortelocatie en de herkomst van de ouders en grootouders. AF is in Amersfoort geboren en (groot)ouders komen uit Emmen, EM is in Emmen geboren en (groot)ouders komen uit Emmen, KO is in Keulen geboren en (groot)ouders komen uit Keulen. KO_EM is in Emmen geboren en één van de ouders komt uit Keulen, de andere uit Emmen. KO_EM_EM_EM is in Emmen geboren en één van de grootouders komt uit Keulen, de andere drie komen uit Emmen. De UNK groep zijn individuen waarbij één van de ouders onbekend zijn. Eigenvector 1 & 2 verklaren 22,15% van de variatie.

Deze eigenvectoren verklaren bij elkaar 22,15% van de variatie. De mantelbavianen zijn onderverdeeld op basis van geboortelocatie en de herkomst van ouders en grootouders. Door de twee eigenvectoren in de grafiek kan de impact van de geïntroduceerde apen uit Keulen en de verschillen tussen de Amersfoort en Emmenpopulaties worden weergegeven.

In het spreidingsdiagram is te zien dat ondanks dat de Amersfoort en Emmenpopulaties in elkaar overlopen, er wel verschil zit tussen de populaties. Deze verschillen liggen voornamelijk op de x-as en zijn dus te verklaren met eigenvector 2. De geïntroduceerde mantelbavianen uit Keulen liggen verder van de Amersfoort en Emmenpopulaties vandaan. Deze scheiding is vooral te verklaren door eigenvector 1. De nakomelingen van de individuen uit Keulen bevinden zich tussen de drie populaties in en clusteren over de as van eigenvector 1. De laatste groep heet UNK, dit is de groep waarbij één van de ouders onbekend is. In de grafiek is deze groep verspreid over de Amersfoort, Emmen en nakomelingen van Keulenpopulaties.

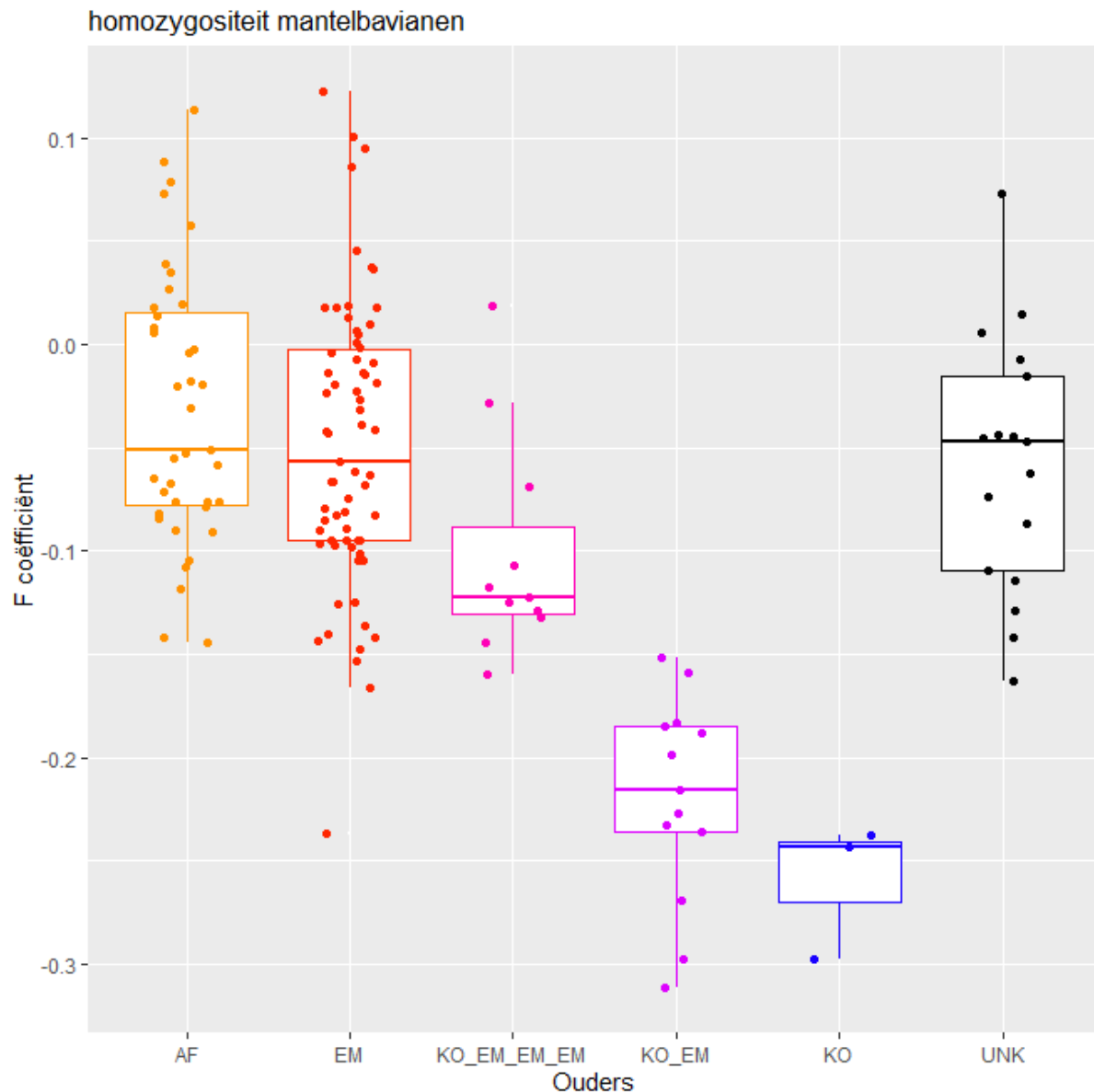
3.2 Genetische diversiteit analyse

Om de genetische diversiteit per individu te bepalen is een heterozygotie analyse uitgevoerd. De resultaten hiervan zijn weergegeven in figuur 3.2. Van alle 150 mantelbavianen is de inteelt coëfficiënt (F) berekend, deze is in het figuur op de y-as weergegeven. Het grootste deel van de inteelt coëfficiënten liggen onder de nul, dit geeft aan dat deze individuen heterozygoter zijn dan verwacht op basis van allel frequenties.

Er zijn verschillende boxplots gemaakt voor de verschillende groepen die ook in figuur 3.1 onderscheiden zijn. De boxplots geven het minimum, het eerste kwartiel, de mediaan, het derde kwartiel en de maximum inteelt coëfficiënt per groep aan, hierdoor kunnen de verschillende groepen met elkaar vergeleken worden. De inteelt coëfficiënten van Emmen en Amersfoort liggen ongeveer op dezelfde hoogte.

De Keulenpopulatie heeft gemiddeld de laagste inteelt coëfficiënt, deze groep heeft dus de meeste heterozygote posities in hun genoom. In de nakomelingen van de Keulenpopulatie stijgt de inteelt coëfficiënt, de coëfficiënt blijft wel lager dan in de Amersfoort en Emmenpopulaties.

De laatste groep, met onbekende ouders, heeft in figuur 3.2 een boxplot die vergelijkbaar is met die van de Amersfoort, Emmenpopulaties.



Figuur 3.2: Resultaten van de HET analyse, hierbij is de genetische diversiteit per individu aangegeven met de verschillende punten, de mediaan van de verschillende groepen is aangegeven met de boxplots. De groepen zijn verdeeld op basis van geboortelocatie en de herkomst van de ouders en grootouders. AF is in Amersfoort geboren en (groot)ouders komen uit Emmen, EM is in Emmen geboren en (groot)ouders komen uit Emmen, KO is in Keulen geboren en (groot)ouders komen uit Keulen. KO_EM is in Emmen geboren en één van de ouders komt uit Keulen, de andere uit Emmen. KO_EM_EM_EM is in Emmen geboren en één van de grootouders komt uit Keulen, de andere drie komen uit Emmen. De UNK groep zijn individuen waarbij één van de ouders onbekend zijn.

Om te kijken of de inteelt coëfficiënt van de verschillende groepen significant verschillend is van elkaar, is de p-waarde uitgerekend met behulp van ANOVA. Hieruit is een p-waarde van $<2e-16\%$ gekomen. Dit betekent dat er een relatie zit tussen de verschillende groepen en de F coëfficiënt, en dat deze groepen dus significant van elkaar verschillen.

3.3 Homozygositeit regio's analyse

De genetisch verwantschap tussen de ouders kan worden achterhaald door te kijken hoeveel stukken in het DNA homozygoot zijn. Lange homozygote stukken betekend dat het individu die stukken van beide ouders heeft gekregen en deze ouders genetisch op elkaar lijken. Om te kijken hoe genetisch verwant ouders van de 150 mantelbavianen waren, is er een homozygositeit regio's analyse uitgevoerd. Met behulp van deze analyse is het aantal homozygote regio's, de totale lengte en de gemiddelde lengte van deze regio's per mantelbaviaan gevonden. Deze informatie is te vinden in bijlage 7.3.

Om de verschillende groepen mantelbavianen te kunnen vergelijken is het gemiddelde aantal regio's, totale lengte van regio's en lengte van regio's van elke groep genomen. In tabel 3.1 is deze informatie weergegeven. Hierin is te zien dat de groep uit Amersfoort de meeste homozygote regio's heeft en de grootste totale lengte. Echter is de gemiddelde lengte van regio's bij de groep van Keulen hoger. De populatie van Amersfoort heeft dus meer homozygote regio's en de populatie uit Keulen heeft langere regio's.

De eerste generatie nakomelingen van Keulen heeft de minste regio's, laagste totale lengte van regio's en laagste gemiddelde lengte van regio's. De tweede generatie en de groep uit Keulen hebben ook een relatief lagere hoeveelheid regio's dan de Amersfoort en Emmen groepen.

Tabel 3.1: Homozygositeit regio's van de vijf verschillende groepen mantelbavianen. De mantelbavianen zijn onderverdeeld in groepen op basis van geboortelocatie en de herkomst van de ouders en grootouders. De groepen zijn hetzelfde als in paragraaf 3.1 en 3.2. De lengte van de regio's is gemeten in kilobytes (kb)

Groep	Gemiddeld aantal regio's	Gemiddelde totale lengte van regio's (kb)	Gemiddelde lengte van regio's (kb)
Keulen	3,67	21052,13	6895
Eerste generatie nakomelingen van Keulen	0,69	2197,83	1360
Tweede generatie nakomelingen van Keulen	4,55	26321,25	3875
Emmen	6,85	39349,85	4029
Amersfoort	13,95	84793,89	5843
Onbekend	6,29	34053,67	3743

3.4 Stamboek analyse

In totaal zijn er dertien mantelbavianen geïntroduceerd uit andere dierentuinen in WILDLANDS Adventure Zoo Emmen sinds het begin van de populatie in 1974. Om te kijken hoe veel effect deze geïntroduceerde apen op de populatie hebben is gekeken naar het aantal nakomelingen die de verschillende apen hebben gekregen.

De resultaten hiervan zijn te vinden in tabel 3.2. In deze tabel is te zien dat twee apen uit Frankfurt en 1 aap uit Keulen niet oud genoeg zijn geworden om kinderen te baren. Over het algemeen hebben oudere bavianen meer jongen dan jongere bavianen, de enige uitzondering hierop is de 21 jaar oude mantelbaviaan die een jong minder heeft dan de twee 18 jaar oude mantelbavianen. In het aantal kleinkinderen en het totaal aantal nakomelingen zit geen correlatie tussen leeftijd en aantal.

Tabel 3.2: Aantal nakomelingen van de dertien mantelbavianen die in 1990 (Frankfurt) en 2001 (Keulen) zijn geïntroduceerd in WILDLANDS Adventure Zoo Emmen. Mantelbavianen met een † achter hun leeftijd zijn overleden.

Herkomst	Geslacht	Leeftijd (jaren)	Aantal jongen	Aantal kleinkinderen	Totaal nakomelingen
Frankfurt	Vrouw	2 jaar †	0	0	0
Frankfurt	Vrouw	2 jaar †	0	0	0
Frankfurt	Vrouw	24 jaar †	7	9	16
Keulen	Vrouw	18 jaar †	4	10	14
Keulen	Vrouw	22 jaar	5	5	10
Keulen	Vrouw	11 jaar †	2	3	5
Keulen	Vrouw	22 jaar	7	10	17
Keulen	Vrouw	21 jaar	4	3	7
Keulen	Vrouw	16 jaar †	3	3	6
Keulen	Vrouw	19 jaar	4	7	11
Keulen	Vrouw	21 jaar	3	4	7
Keulen	Vrouw	6 jaar †	0	0	0
Keulen	Vrouw	18 jaar †	4	2	6

overleden.

Van alle nakomelingen van de drie mantelbavianen uit Frankfurt en de tien uit Keulen is gekeken hoeveel er nog leefden op 21 maart 2017.

Daarnaast zijn de geïntroduceerde en nog levende bavianen uit Keulen hierbij opgeteld. Deze gegevens zijn te vinden in tabel 3.3.

Aangezien twee van de drie mantelbavianen uit Frankfurt waren overleden voordat ze jongeren konden krijgen, zijn alle nakomelingen van geïntroduceerde apen uit Frankfurt van dezelfde aap.

Tabel 3.3: Het aantal nog levende geïntroduceerde mantelbavianen in WILDLANDS Adventure zoo Emmen en de levende nakomelingen van alle geïntroduceerde mantelbavianen. Daarnaast is ook het percentage weergegeven hoe groot deze groep is ten opzichte van de complete populatie van 130 mantelbavianen in Emmen.

Groep	Aantal	Percentage
Nakomelingen van geïntroduceerde apen uit Frankfurt	8	6,15%
Mantelbavianen en nakomelingen van geïntroduceerde apen uit Keulen	46	35,38%
Totaal mantelbavianen en nakomelingen van geïntroduceerde apen.	52	40%
Totaal aantal bavianen in Emmen	130	100%

In totaal leefden er 130 mantelbavianen in Emmen, acht hiervan stamden af van de mantelbaviaan uit Frankfurt, dit is 6,15% van de gehele populatie. 35,38% van alle mantelbavianen stamden af van bavianen uit Keulen. In totaal stamden 40% van alle mantelbavianen af van geïntroduceerde apen. Dit is niet de som van het percentage mantelbavianen dat afstamt van Frankfurt en Keulen omdat twee mantelbavianen van beide groepen afstammen.

4. Discussie

Het doel van dit onderzoek was om vast te stellen hoe groot inteelt een probleem was in WILDLANDS Adventure Zoo Emmen en DierenPark Amersfoort. Om hier een antwoord op te vinden waren de volgende deelvragen opgesteld:

1. Hoe genetisch verschillend zijn de mantelbavianen uit de verschillende populaties?
2. Hoe groot is de genetische diversiteit per individu?
3. Hoe genetisch verwant zijn de ouders van de verschillende mantelbavianen?
4. Wat is het aantal nakomelingen van de geïntroduceerde mantelbavianen uit Frankfurt en Keulen in vergelijking met de originele groep?

In dit hoofdstuk wordt per deelvraag de resultaten besproken en geëvalueerd.

4.1 Genetische diversiteit tussen de populaties

Om de eerste deelvraag te beantwoorden, is er een PCA uitgevoerd. Hieruit bleek dat er een duidelijk onderscheid was te zien tussen de verschillende groepen mantelbavianen. De groepen Amersfoort en Emmen populaties lijken veel op elkaar, terwijl de drie geïntroduceerde apen uit Keulen een stuk lager in de grafiek staan. De nakomelingen van de Keulenpopulatie liggen in de grafiek tussen de Amersfoort, Keulen en Emmenpopulaties in.

Tijdens het verzamelen van de SNPs van de mantelbavianen werd een analyse gedaan, hierbij is gekeken naar de hoeveelheid ontbrekende data per aap. Bij 15 mantelbavianen is er minder dan 80% van het totaal aantal SNPs gevonden, deze bavianen zijn uit de dataset gehaald. Twee van deze apen waren geïntroduceerde apen uit Keulen. Vijf andere apen uit Keulen waren voor dit onderzoek al overleden en is dus geen SNP-data van beschikbaar. Hierdoor zijn maar drie mantelbavianen uit Keulen gebruikt voor dit onderzoek. Verwacht wordt dat deze bavianen wel representatief zijn voor de hele groep geïntroduceerde apen, omdat nakomelingen van apen uit Keulen die niet in de dataset voorkomen in hetzelfde gebied van figuur 3.1 liggen als de nakomelingen van de apen uit Keulen die wel in de dataset voorkomen.

Het proces van de PCA is gelopen zoals gepland. Door missende informatie over de ouders van sommige mantelbavianen, zitten er wat gaten in de data. Deze groep genaamd UNK in figuur 3.1 is echter niet heel groot en de locaties binnen de grafiek zijn realistisch. Hierdoor heeft deze missende data weinig effect op de conclusie van dit onderzoek.

Bij de eerste eigenvector is al meteen zichtbaar dat er een scheiding is tussen de Keulenpopulatie en de Nederlandse dieren. Dit laat zien dat de introductie van dieren uit Keulen een belangrijke toevoeging is voor de genetische diversiteit. De populatie van Amersfoort verschilt in genetische diversiteit met de Emmenpopulatie dit kan een gevolg zijn van genetische drift. Dit is het proces waarbij er door toeval allelen verdwijnen of gefixeerd raken. Genetische drift komt veel voor bij kleine populaties en is een belangrijke reden om nieuwe dieren bij een populatie toe te voegen.

4.2 Genetische diversiteit binnen de individuen

Om de genetische diversiteit per individu te vinden is er een heterozygotie analyse uitgevoerd. Met behulp van de inteelt coëfficiënt zijn alle 150 mantelbavianen geplot in figuur 3.2. De meest mantelbavianen zijn heterozygoter dan verwacht op basis van allel frequenties en hebben dus een inteelt coëfficiënt van onder de nul. De coëfficiënt van de groep uit Keulen is het laagst, de Amersfoort en Emmenpopulaties hebben de hoogste inteelt coëfficiënt.

Net als bij de vorige deelvraag is er weinig data over de Keulenpopulatie. Wel is opvallend dat de drie mantelbavianen uit Keulen de een van de laagste inteelt coëfficiënt hebben. Dat betekent namelijk dat er in Nederland meer inteelt is dan in Keulen. Er werd verwacht dat de nakomelingen van deze populatie een lagere coëfficiënt zouden hebben omdat deze genen hebben overgenomen uit twee verschillende diertuinen.

De eerste generatie nakomelingen van Keulen hebben een lagere inteeltcoëfficiënt dan de tweede generatie. Dit geeft aan dat genetische diversiteit snel weer daalt naar mate de introductie van nieuwe dieren langer geleden is, en er dus weer een groter aandeel van de Emmen genetische achtergrond in de dieren aanwezig is.

De groep met onbekende ouders heeft geen individuen die een hoger of lagere inteelt coëfficiënt hebben dan de andere mantelbavianen, de boxplot van deze groep lijkt op de boxplot van de Amersfoort en Emmen populaties. Er zijn hier dus geen onverwachte resultaten gevonden, de meeste mantelbavianen in de onbekend groep hebben waarschijnlijk ouders die uit Emmen of Amersfoort komen.

4.3 Verwantschap tussen de ouders

De derde deelvraag over de genetische verwantschap tussen de ouders is beantwoord met behulp van een homozygositeit regio's analyse. Het aantal en grootte van de regio's verschilt sterk per populatie (tabel 3.1). De eerste generatie nakomelingen van Keulen heeft gemiddeld 0,69 regio's per individu terwijl de Amersfoortpopulatie er gemiddeld 13,95 per individu heeft. Dit geeft aan dat de individuen uit Amersfoort ouders hebben die genetisch meer op elkaar lijken dan andere populaties.

Uit de vorige deelvraag bleek dat de inteelt coëfficiënt bij de Keulenpopulatie erg laag was, maar uit de resultaten van 3.1 blijkt dat deze groep wel gemiddeld de langste homozygositeit regio's heeft. Aangezien het aantal regio's wel heel laag is in deze groep kan het zijn dat dit hoge getal komt door stukken van het gen die essentieel zijn voor het overleven van de mantelbaviaan. Deze stukken zouden dan elke baviaan moeten hebben.

De groep met onbekende ouders heeft resultaten die veel lijken op de Emmenpopulatie. Er zijn hier geen onverwachte resultaten gevonden.

4.4 Nakomelingen van geïntroduceerde mantelbavianen

Door te kijken hoe groot deel van de populatie nakomeling is van een geïntroduceerde baviaan uit een buitenlandse dierentuin, is gekeken wat de impact van de introducties was. In tabel 3.3 is te zien dat 40% van de mantelbavianen die op 21 maart 2017 in WILDLANDS Adventure Zoo Emmen leefden verwant waren met apen uit Frankfurt of Keulen.

In verband met de tijd is er voor gekozen om niet uit te zoeken wat het aantal nakomelingen is per mantelbaviaan. Dit bleek een te ambitieus idee aangezien door de opbouw van de data dit allemaal met de hand uitgezocht moest worden. In een volgend onderzoek kan dit met behulp van een computer programma uitgezocht worden. In dit onderzoek is er alleen gekeken naar de bavianen die komen of verwant zijn aan mantelbavianen uit Frankfurt of Keulen. Dit geeft nog steeds een goed beeld van de impact van geïntroduceerde dieren.

Er is ook niet meer uitgezocht wat de ouders waren van de groep mantelbavianen met onbekende ouders. Er is vanuit gegaan dat deze groep een gelijke kans heeft om verwant te zijn met geïntroduceerde apen en dus geen invloed heeft op het antwoord van de laatste deelvraag. Wel kan het hierdoor zijn dat er sommige nakomelingen in tabel 3.2 missen.

Bijna de helft van alle mantelbavianen in Emmen bevatten enige maten van geïntroduceerd bloed. Om de genetische diversiteit hoog te houden wordt aangeraden om het introduceren van nieuwe dieren door te zetten.

5. Conclusie en aanbevelingen

Conclusie

Het doel van dit onderzoek was om te kijken hoe groot het effect van inteelt is op de populaties mantelbavianen in DierenPark Amersfoort en WILDLANDS Adventure Zoo Emmen. Om hier achter te komen waren er vier deelvragen opgesteld:

1. Hoe genetisch verschillend zijn de mantelbavianen uit de verschillende populaties?
2. Hoe groot is de genetische diversiteit per individu?
3. Hoe genetisch verwant zijn de ouders van de verschillende mantelbavianen?
4. Wat is het aantal nakomelingen van de geïntroduceerde mantelbavianen uit Frankfurt en Keulen in vergelijking met de originele groep?

De Amersfoort en Emmenpopulaties mengen met elkaar, dit betekent dat deze twee populaties op elkaar lijken. De Keulenpopulatie ligt verder van de Amersfoort en Emmenpopulaties af en overlapt niet. De Keulenpopulatie verschilt dus genetisch meer met de andere twee populaties dan de Amersfoort en Emmenpopulaties met elkaar.

De genetische diversiteit per individu verschilt per populatie. De individuen in de Amersfoort en Emmenpopulaties hebben de minste genetische diversiteit. De Keulenpopulatie heeft de meeste genetische diversiteit per individu. De nakomelingen van de Keulenpopulatie hebben meer genetische diversiteit dan de Amersfoort en Emmenpopulaties maar minder genetische diversiteit dan de Keulenpopulatie. Deze diversiteit neemt af per generatie.

Om erachter te komen hoe genetisch verwant de ouders van de verschillende mantelbavianen is een homozygositeit regio's analyse uitgevoerd. Hieruit blijkt dat de ouders van de mantelbavianen in de eerste generatie nakomelingen van Keulen het minst verwant zijn. De Amersfoortpopulatie heeft de meeste verwantschap tussen de ouders. De overige groepen liggen tussen deze twee populaties in.

De laatste deelvraag luidt: Wat is het aantal nakomelingen van de geïntroduceerde mantelbavianen uit Frankfurt en Keulen in vergelijking met de originele groep? De populatie uit Keulen heeft meer dan vijf keer zoveel nog levende nakomelingen als de populatie uit Frankfurt. In totaal zijn 40% van de huidig levende mantelbavianen in WILDLANDS Adventure Zoo Emmen verwant aan apen die in 1990 of 2001 geïntroduceerd zijn in de populatie.

Om tot slot de hoofdvraag te beantwoorden: Hoe groot is het probleem van inteelt binnen de populaties mantelbavianen (*Papio hamadryas*) in WILDLANDS Adventure Zoo Emmen en DierenPark Amersfoort?

In DierenPark Amersfoort is meer inteelt aanwezig dan in WILDLANDS Adventure Zoo Emmen. Dit komt deels omdat deze populatie begon met een kleinere genenpool, daarnaast heeft de introductie van dertien Mantelbavianen uit Frankfurt en Keulen de genetische diversiteit in Emmen verhoogd. Echter is in figuur 3.2 en tabel 3.1 te zien dat deze genetische diversiteit weer afzwakt in de tweede generatie nakomelingen ten opzichte van de eerste generatie.

Aanbevelingen

Om de genetische diversiteit in WILDLANDS Adventure Zoo Emmen en DierenPark Amersfoort te verbeteren wordt het aanbevolen om de introductie van nieuwe mantelbavianen in Emmen voort te zetten en in Amersfoort te beginnen. Door dit op een regelmatig interval te doen, bijvoorbeeld elke 10 jaar, blijft er een stabiele stroom van nieuwe genen en de genetische diversiteit hoog. Daarnaast wordt er aanbevolen om minstens 5 mantelbavianen per keer te introduceren, dit voorkomt dat te veel mantelbavianen niet kunnen voortplanten en het effect van de introductie laag is zoals bij de introductie van mantelbavianen uit Frankfurt.

Voor een vervolgonderzoek zijn er meerdere punten waarop kan worden gefocust. Ten eerste kan er meer onderzoek gedaan worden naar de populatie uit Keulen, in dit onderzoek was er genetische informatie van maar drie individuen. Met meer mantelbavianen kan een betrouwbaarder resultaat worden opgeleverd. Ten tweede kan er onderzoek gedaan worden naar de effecten van inteelt, er zijn bijvoorbeeld bavianen in WILDLANDS Adventure Zoo Emmen die in hun eerste levensjaar al sterven. Er kan worden onderzocht of dit door een genetische afwijking komt en of dit te voorkomen is. Als laatste kan deelvraag 4 ook worden onderzocht in Dierenpark Amersfoort, voor dit onderzoek was er geen informatie over de mantelbavianen die daar geboren waren.

6. Bronnenlijst

Beck, B. B., Rapaport, L. G., Price, M. R., & Wilson, A. C. (1994). Reintroduction of captive-born animals. *Creative conservation* (pp. 265-286). Springer, Dordrecht.

https://doi.org/10.1007/978-94-011-0721-1_13

Bevans, R. (2022, 9 juli). *ANOVA in R | A Complete Step-by-Step Guide with Examples*. Scribbr. Geraadpleegd op 18 juli 2022, van

<https://www.scribbr.com/statistics/anova-in-r/>

Ceballos, F. C., & Álvarez, G. (2013). Royal dynasties as human inbreeding laboratories: the Habsburgs. *Heredity*, 111(2), 114-121.

<https://doi.org/10.1038/hdy.2013.25>

Chang, C. C., Chow, C. C., Tellier, L. C., Vattikuti, S., Purcell, S. M., & Lee, J. J. (2015). Second-generation PLINK: rising to the challenge of larger and richer datasets. *Gigascience*, 4(1), s13742-015. <https://doi.org/10.1186/s13742-015-0047-8>

Glaubitz, J. C., Casstevens, T. M., Lu, F., Harriman, J., Elshire, R. J., Sun, Q., & Buckler, E. S. (2014). TASSEL-GBS: A high capacity genotyping by sequencing analysis pipeline. *PLoS ONE*, 9(2). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0090346>

IUCN. (2021). *Hamadryas Baboon*. iucnredlist. Geraadpleegd op 12 juni 2022, van

<https://www.iucnredlist.org/species/16019/17953082>

Kappelhof, J., & Windig, J. J. (2021). Controlling inbreeding rate in the European zoo population of Hamadryas baboons *Papio hamadryas* with a breeding circle. *Journal of Zoo and Aquarium Research*, 9(1), 26-34. <https://doi.org/10.19227/jzar.v9i1.585>

Keller, L. F., & Waller, D. M. (2002). Inbreeding effects in wild populations. *Trends in Ecology & Evolution*, 17(5), 230-241. [https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(02\)02489-8](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(02)02489-8)

Lees, C. M., & Wilcken, J. (2009). Sustaining the Ark: the challenges faced by zoos in maintaining viable populations. *International Zoo Yearbook*, 43(1), 6-18.

<https://doi.org/10.1111/j.1748-1090.2008.00066.x>

Mayr, E. (1999). *Systematics and the origin of species, from the viewpoint of a zoologist*. Harvard University Press.

Purcell, S., Neale, B., Todd-Brown, K., Thomas, L., Ferreira, M. A., Bender, D., ... & Sham, P. C. (2007). PLINK: a tool set for whole-genome association and population-based linkage analyses. *The American journal of human genetics*, 81(3), 559-575.

<https://doi.org/10.1086/519795>

Purcell, S. & Chang, C. (2022). PLINK (1.90 beta 6.26, 2 Apr) [computerprogramma]. Geraadpleegd op 9 juni 2022, van www.cog-genomics.org/plink/1.9/

Purcell, S. & Chang, C. (z.d.-a). *Basic statistics*. cog-genomics. Geraadpleegd op 12 juni 2022, van https://www.cog-genomics.org/plink/1.9/basic_stats#ibc

Purcell, S. & Chang, C. (z.d.-b). *Distance matrices*. cog-genomics. Geraadpleegd op 12 juni 2022, van <https://www.cog-genomics.org/plink/1.9/distance#distance>

Purcell, S. & Chang, C. (z.d.-c). *Identity-by-descent*. cog-genomics. Geraadpleegd op 12 juni 2022, van <https://www.cog-genomics.org/plink/1.9/ibd#homozyg>

Purcell, S. & Chang, C. (z.d.-d). *Population stratification*. cog-genomics. Geraadpleegd op 12 juni 2022, van <https://www.cog-genomics.org/plink/1.9/strat#pca>

R Core Team (2022). R: A language and environment for statistical computing (4.2.0) [computerprogramma]. R Foundation for Statistical Computing. Geraadpleegd op 9 juni 2022, van <https://www.R-project.org/>

Sigg, H., Stolba, A., Abegglen, J. J., & Dasser, V. (1982). Life history of hamadryas baboons: physical development, infant mortality, reproductive parameters and family relationships. *Primates*, 23(4), 473-487. <https://doi.org/10.1007/BF02373959>

Species360. (z.d.). *Data science for zoos and aquariums*. Geraadpleegd op 11 juni 2022, van <https://www.species360.org/products-services/zoo-aquarium-animal-management-software-2/>

Stumpel, J. (2017). *bavianen_huidig* [Ongepubliceerde ruwe data]. WILDLANDS Adventure Zoo Emmen.

Swedell, L. (2002a). Affiliation among females in wild hamadryas baboons (*Papio hamadryas hamadryas*). *International Journal of Primatology*, 23(6), 1205-1226. <https://doi.org/10.1023/A:1021170703006>

Swedell, L. (2002b). Ranging behavior, group size and behavioral flexibility in Ethiopian hamadryas baboons (*Papio hamadryas hamadryas*). *Folia Primatologica*, 73(2-3), 95-103.

The Editors of Encyclopaedia Britannica (2019, 28 februari). *inbreeding*. Encyclopedia Britannica. Geraadpleegd op 14 april 2022, van <https://www.britannica.com/science/inbreeding>

Thomas, C. D., Cameron, A., Green, R. E., Bakkenes, M., Beaumont, L. J., Collingham, Y. C., ... & Williams, S. E. (2004). Extinction risk from climate change. *Nature*, 427(6970), 145-148. <https://doi.org/10.1038/nature02121>

Vogt, D., Swartz, H. A., & Massey, J. (2018). Inbreeding: Its meaning, uses and effects on farm animals. G - Agricultural Guides (University of Missouri--Columbia. Extension); 01019.

Weetering, Y. (2017). *Generating a SNP-dataset using Genotyping-by-Sequencing techniques and parentage assignment of two captive Hamadryas Baboon (Papio hamadryas) populations* [Major thesis Animal breeding and Genetics]. Wageningen University.

7. Bijlages

7.1 Codes PLINK

7.1.1 PCA analyse

```
1 library(ggplot2)
2 shell("C:\\Users\\Gebruiker\\Documents\\plink\\plink --bfile Name_data --pca --out PCA")
3 table <- read.table("PCA.eigenvec")
4 Parents <- as.factor(table$V1)
5 ggplot(data=table, aes(y=V3,x=V4,col=V1))+geom_point()
6   +scale_color_manual(breaks=c("AF", "EM", "KO", "KO_EM", "KO_EM_EM_EM", "UNK"),
7   values=c("#FF9100", "#FF2600", "#1900FF", "#DD00FF", "#FF00B7", "#000000"))
8   +xlab("eigenvector 2")+ylab("eigenvector 1")+ggtitle("PCA mantelbavianen")+ labs(col = "Legenda")
9
```

7.1.2 HET & ANOVA analyses

```
1 library(ggplot2)
2 shell("C:\\Users\\Gebruiker\\Documents\\plink\\plink --bfile Name_data --het --out HET2")
3 table <- read.table("HET2.het", header=T)
4 summary(table)
5 ggplot(table, aes(x=FID, y=F, col=FID))+geom_boxplot(outlier.colour="white", outlier.size=0, outlier.shape=1)
6   +scale_x_discrete(limits=c("AF", "EM", "KO_EM_EM_EM", "KO_EM", "KO", "UNK"))
7   +scale_color_manual(breaks=c("AF", "EM", "KO", "KO_EM", "KO_EM_EM_EM", "UNK"),
8   values=c("#FF9100", "#FF2600", "#1900FF", "#DD00FF", "#FF00B7", "#000000"))
9   +xlab("Ouders")+ylab("F factor")+ggtitle("homozygositeit mantelbavianen")
10  +theme(legend.position="none")+geom_jitter(shape=16, position=position_jitter(0.2))
11
12 library(ggpubr)
13 library(tidyverse)
14 library(broom)
15 library(AICcmodavg)
16
17 ANOVA <- aov(F ~ FID, data = table)
18 summary(ANOVA)
```

7.1.3 ROH analyse

```
1 library(ggplot2)
2 shell("C:\\Users\\Gebruiker\\Documents\\plink\\plink --bfile Number_data --homozyg
3   --homozyg-window-snp 25 --homozyg-window-het 1 --homozyg-kb 1000
4   --homozyg-window-missing 5 --homozyg-gap 5000 --out ROH2")
5 table2 <- read.table("ROH2.hom.indiv", header=T)
6
7 install.packages("writexl")
8 write_xlsx(ROH2.hom.indiv, "C:\\Users\\Gebruiker\\Documents\\ROH2.xlsx")
9
10 write_xlsx(table2, "C:\\Users\\Gebruiker\\Documents\\ROH2.xlsx")
```

7.2 Lijst van bemonsterde mantelbavianen

Sample ID	Sample name	Local ID	Current Zoo	Birth Zoo	Date of birth	Gender
B1	1_Baboon	332619	Emmen	Emmen	19-5-2012	Male
B10	10_Baboon	332627	Emmen	Emmen	8-2-2013	Female
B100	100_Baboon	332594	Emmen	Emmen	8-9-2010	Male
B101	101_Baboon	332647	Emmen	Emmen	6-8-2014	Female
B102	102_Baboon	332645	Emmen	Emmen	4-6-2014	Male
B103	103_Baboon	332618	Emmen	Emmen	28-2-2012	Male
B104	104_Baboon	332639	Emmen	Emmen	4-1-2014	Male
B106	106_Baboon	332644	Emmen	Emmen	29-5-2014	Female
B107	107_Baboon	332455	Emmen	Köln	1-1-1998	Female
B109	109_Baboon	332620	Emmen	Emmen	16-7-2012	Female
B11	11_Baboon	332589	Emmen	Emmen	28-6-2010	Female
B110	110_Baboon	332646	Emmen	Emmen	18-6-2014	Female
B111	111_Baboon	332607	Emmen	Emmen	11-9-2011	Female
B112	112_Baboon	332587	Emmen	Emmen	18-6-2010	Male
B113	113_Baboon	332354	Emmen	Emmen	15-8-1995	Female
B114	114_Baboon	332560	Emmen	Emmen	30-10-2007	Male
B115	115_Baboon	332648	Emmen	Emmen	11-8-2014	Male
B116	116_Baboon	332585	Emmen	Emmen	26-5-2010	Female
B117	117_Baboon	M2343	Amersfoort	Emmen	3-9-1998	Male
B118	118_Baboon	M2345	Amersfoort	Emmen	1-12-1999	Male
B119	119_Baboon	M2346	Amersfoort	Emmen	7-12-1997	Male
B12	12_Baboon	332613	Emmen	Emmen	25-12-2011	Female
B120	120_Baboon	M2585	Amersfoort	Amersfoort	20-1-2002	Male
B121	121_Baboon	M2660	Amersfoort	Amersfoort	2-6-2002	Male
B122	122_Baboon	M2924	Amersfoort	Amersfoort	5-1-2004	Male
B123	123_Baboon	M3072	Amersfoort	Amersfoort	2-11-2004	Male
B124	124_Baboon	M3090	Amersfoort	Amersfoort	20-12-2004	Male
B125	125_Baboon	M3265	Amersfoort	Amersfoort	31-1-2006	Male
B126	126_Baboon	M3293	Amersfoort	Amersfoort	28-3-2006	Male
B127	127_Baboon	M3983	Amersfoort	Amersfoort	17-8-2010	Male
B128	128_Baboon	M4547	Amersfoort	Amersfoort	9-6-2006 (from june-9-2003 to june-9-2009)	Male
B129	129_Baboon	M4942	Amersfoort	Amersfoort	9-6-2006 (from june-9-2003 to june-9-2009)	Male
B13	13_Baboon	332640	Emmen	Emmen	17-1-2014	Male
B130	130_Baboon	M4943	Amersfoort	Amersfoort	9-6-2006 (from june-9-2003 to june-9-2009)	Male
B131	131_Baboon	M4193	Amersfoort	Amersfoort	6-11-2011	Male
B132	132_Baboon	M4199	Amersfoort	Amersfoort	9-1-2012	Male
B133	133_Baboon	M2318	Amersfoort	Emmen	1-1-1992	Female
B134	134_Baboon	M2319	Amersfoort	Emmen	15-8-1995	Female
B135	135_Baboon	M2325	Amersfoort	Emmen	1-1-1985	Female

B136	136_Baboon	M2328	Amersfoort	Emmen	1-1-1990	Female
B137	137_Baboon	M2330	Amersfoort	Emmen	1-6-1993	Female
B138	138_Baboon	M2332	Amersfoort	Emmen	21-5-1994	Female
B139	139_Baboon	M2298	Amersfoort	Amersfoort	18-7-2000	Female
B14	14_Baboon	332632	Emmen	Emmen	13-7-1996	Male
B140	140_Baboon	M2367	Amersfoort	Amersfoort	22-8-2000	Female
B141	141_Baboon	M2573	Amersfoort	Amersfoort	24-12-2001	Female
B142	142_Baboon	M2813	Amersfoort	Amersfoort	8-5-2003	Female
B143	143_Baboon	M2913	Amersfoort	Amersfoort	9-11-2003	Female
B144	144_Baboon	M2995	Amersfoort	Amersfoort	15-5-2004	Female
B145	145_Baboon	M3029	Amersfoort	Amersfoort	12-7-2004	Female
B146	146_Baboon	M3202	Amersfoort	Amersfoort	25-7-2005	Female
B147	147_Baboon	M3223	Amersfoort	Amersfoort	30-8-2005	Female
B148	148_Baboon	M3270	Amersfoort	Amersfoort	8-2-2006	Female
B149	149_Baboon	M3368	Amersfoort	Amersfoort	1-7-2006	Female
B15	15_Baboon	332638	Emmen	Emmen	19-11-2013	Female
B150	150_Baboon	M3382	Amersfoort	Amersfoort	11-11-2006	Female
B151	151_Baboon	M3674	Amersfoort	Amersfoort	16-10-2008	Female
B152	152_Baboon	M3858	Amersfoort	Amersfoort	7-12-2009	Female
B153	153_Baboon	M4043	Amersfoort	Amersfoort	8-2-2011	Female
B154	154_Baboon	M4151	Amersfoort	Amersfoort	1-7-2011	Female
B155	155_Baboon	M4944	Amersfoort	Amersfoort	1-1-2013	Female
B156	156_Baboon	M4945	Amersfoort	Amersfoort	1-1-2000	Female
B157	157_Baboon	M4313	Amersfoort	Amersfoort	25-9-2012	Female
B158	158_Baboon	M4346	Amersfoort	Amersfoort	28-3-2013	Female
B159	159_Baboon	M4352	Amersfoort	Amersfoort	8-4-2013	Female
B16	16_Baboon	332617	Emmen	Emmen	24-2-2012	Male
B160	160_Baboon	M4475	Amersfoort	Amersfoort	30-3-2014	Female
B161	161_Baboon	M4566	Amersfoort	Amersfoort	14-10-2014	Female
B162	162_Baboon	M2333 / 332367	Amersfoort	Emmen	1-1-1996	Female
B163	163_Baboon	M4817	Amersfoort	Amersfoort	8-9-2015	Male
B164	164_Baboon	M4684	Amersfoort	Amersfoort	4-3-2015	Male
B165	165_Baboon	M3101	Amersfoort	Amersfoort	12-3-2005	female
B166	166_Baboon	M4946	Amersfoort	Emmen	1-1-1996	female
B17	17_Baboon	332642	Emmen	Emmen	18-4-2014	Male
B18	18_Baboon	332621	Emmen	Emmen	20-7-2012	Male
B19	19_Baboon	332598	Emmen	Emmen	5-3-2011	Female
B2	2_Baboon	332259	Emmen	Emmen	15-7-1992	Female
B20	20_Baboon	332643	Emmen	Emmen	19-4-2014	Female
B21	21_Baboon	332444	Emmen	Emmen	10-5-2000	Male
B22	22_Baboon	332524	Emmen	Emmen	3-1-2005	Male
B23	23_Baboon	332636	Emmen	Emmen	22-6-2013	Female
B24	24_Baboon	332556	Emmen	Emmen	2-4-2007	Female
B25	25_Baboon	332475	Emmen	Emmen	28-12-2001	Female
B26	26_Baboon	332543	Emmen	Emmen	26-4-2006	Male

B27	27_Baboon	332604	Emmen	Emmen	26-8-2011	Male
B28	28_Baboon	332528	Emmen	Emmen	13-4-2005	Female
B29	29_Baboon	332611	Emmen	Emmen	17-12-2011	Female
B3	3_Baboon	332531	Emmen	Emmen	25-6-2005	Male
B30	30_Baboon	332597	Emmen	Emmen	14-2-2011	Female
B31	31_Baboon	332583	Emmen	Emmen	26-10-2010	Female
B32	32_Baboon	332664	Emmen	Emmen	11-2-2015	Female
B33	33_Baboon	332622	Emmen	Emmen	10-9-2012	Female
B34	34_Baboon	332487	Emmen	Emmen	21-8-2002	Female
B35	35_Baboon	332670	Emmen	Emmen	9-6-2015	Male
B38	38_Baboon	332463	Emmen	Emmen	1-6-2001	Female
B39	39_Baboon	332661	Emmen	Emmen	1-7-2000	Female
B4	4_Baboon	332579	Emmen	Emmen	3-2-2010	Male
B40	40_Baboon	Emmen	Emmen	Male		
B41	41_Baboon	332584	Emmen	Emmen	14-5-2010	Female
B42	42_Baboon	332662	Emmen	Emmen	18-2-2015	Female
B43	43_Baboon	332529	Emmen	Emmen	9-5-2005	Female
B44	44_Baboon	332333	Emmen	Emmen	21-3-1996	Female
B46	46_Baboon	332491	Emmen	Emmen	15-12-2002	Female
B48	48_Baboon	332496	Emmen	Emmen	15-2-2003	Female
B49	49_Baboon	332557	Emmen	Emmen	9-4-2007	Female
B5	5_Baboon	332656	Emmen	Emmen	27-12-2014	Male
B50	50_Baboon	332476	Emmen	Emmen	20-1-2002	Female
B51	51_Baboon	332658	Emmen	Emmen	17-1-2015	Male
B52	52_Baboon	332481	Emmen	Emmen	19-8-2002	Female
B53	53_Baboon	332591	Emmen	Emmen	15-8-2010	Female
B54	54_Baboon	332545	Emmen	Emmen	10-5-2006	Female
B55	55_Baboon	332517	Emmen	Emmen	29-9-2004	Female
B56	56_Baboon	332411	Emmen	Emmen	14-2-1996	Female
B57	57_Baboon	332072	Emmen	Emmen	7-12-1980	Female
B58	58_Baboon	332360	Emmen	Emmen	12-12-2001	Male
B59	59_Baboon	332534	Emmen	Emmen	9-9-2005	Female
B6	6_Baboon	332537	Emmen	Emmen	22-12-2005	Female
B60	60_Baboon	332489	Emmen	Emmen	25-10-2002	Male
B61	61_Baboon	332178	Emmen	Emmen	15-11-1987	Female
B62	62_Baboon	332466	Emmen	Emmen	11-11-2001	Female
B63	63_Baboon	332429	Emmen	Emmen	24-7-1999	Female
B64	64_Baboon	332547	Emmen	Emmen	13-9-2006	Male
B65	65_Baboon	332590	Emmen	Emmen	25-5-2010	Male
B66	66_Baboon	332577	Emmen	Emmen	17-11-2009	Female
B67	67_Baboon	332453	Emmen	Köln	1-1-1996	Female
B68	68_Baboon	332514	Emmen	Emmen	10-6-2004	Male
B69	69_Baboon	332180	Emmen	Emmen	28-11-1987	Female
B7	7_Baboon	332361	Emmen	Emmen	25-11-1996	Female
B70	70_Baboon	332501	Emmen	Emmen	1-6-1997	Female
B71	71_Baboon	332657	Emmen	Emmen	12-1-2015	Male

B72	72_Baboon	332423	Emmen	Emmen	15-12-1998	Female
B73	73_Baboon	332549	Emmen	Emmen	22-12-2006	Female
B75	75_Baboon	332392	Emmen	Emmen	22-9-1997	Female
B76	76_Baboon	332359	Emmen	Emmen	1-6-1994	Female
B77	77_Baboon	332669	Emmen	Emmen	23-4-2015	Female
B78	78_Baboon	332614	Emmen	Emmen	25-12-2011	Female
B79	79_Baboon	332561	Emmen	Emmen	21-11-2007	Male
B8	8_Baboon	332538	Emmen	Emmen	24-12-2005	Female
B80	80_Baboon	332637	Emmen	Emmen	15-10-2013	Male
B81	81_Baboon	332504	Emmen	Emmen	16-10-2003	Male
B82	82_Baboon	332609	Emmen	Emmen	25-10-2011	Male
B85	85_Baboon	Emmen	Emmen			
B86	86_Baboon	332334	Emmen	Emmen	21-4-1996	Male
B88	88_Baboon	332273	Emmen	Emmen	4-3-1993	Female
B89	89_Baboon	332450	Emmen	Köln	1-1-1995	Female
B9	9_Baboon	332499	Emmen	Emmen	26-6-2003	Female
B90	90_Baboon	332578	Emmen	Emmen	13-1-2010	Male
B91	91_Baboon	332653	Emmen	Emmen	25-11-2014	Male
B92	92_Baboon	332421	Emmen	Emmen	16-11-1998	Male
B93	93_Baboon	332456	Emmen	Köln	1-6-1995	Female
B94	94_Baboon	332615	Emmen	Emmen	26-1-2012	Male
B96	96_Baboon	332654	Emmen	Emmen	9-12-2014	Male
B97	97_Baboon	332612	Emmen	Emmen	30-6-2012	Male
B98	98_Baboon	332539	Emmen	Emmen	7-2-2006	Male
B99	99_Baboon	Emmen	Emmen	Female		
Sample1	36_Baboon	332471	Emmen	Emmen	18-11-2001	Female
Sample10	108_Baboon	332337	Emmen	Emmen	21-8-1994	Male
Sample2	37_Baboon	332472	Emmen	Emmen	24-12-2001	Female
Sample3	47_Baboon	332251	Emmen	Emmen	12-12-1991	Female
Sample4	74_Baboon	332439	Emmen	Emmen	7-1-2000	Male
Sample5	83_Baboon	332580	Emmen	Emmen	10-2-2010	Male
Sample6	84_Baboon	332554	Emmen	Emmen	20-3-2007	Female
Sample7	87_Baboon	332452	Emmen	Köln	1-1-1995	Female
Sample8	95_Baboon	332494	Emmen	Emmen	15-2-2003	Male
Sample9	105_Baboon	332493	Emmen	Emmen	15-2-2003	Male

7.3 Homozygositeit regio's

Ouders	Nummer	Aantal regio's van homozygositeit	Totale lengte van regio's (kb)	Gemiddelde lengte van regio's (kb)
KO	1	5	21471,5	4294,3
KO	2	5	31617,6	6323,52
KO	3	1	10067,3	10067,3
KO_EM	4	0	0	0
KO_EM	5	0	0	0
KO_EM	6	0	0	0
KO_EM	7	0	0	0
KO_EM	8	0	0	0
KO_EM	9	0	0	0
KO_EM	10	0	0	0
KO_EM	11	1	1103,07	1103,07
KO_EM	12	1	1548,79	1548,79
KO_EM	13	1	2963,41	2963,41
KO_EM	14	3	10677,2	3559,06
KO_EM	15	2	7541,35	3770,68
KO_EM	16	1	4737,99	4737,99
KO_EM_EM_EM	17	0	0	0
KO_EM_EM_EM	18	0	0	0
KO_EM_EM_EM	19	0	0	0
KO_EM_EM_EM	20	3	10944,8	3648,28
KO_EM_EM_EM	21	1	4196,59	4196,59
KO_EM_EM_EM	22	2	8522,95	4261,48
KO_EM_EM_EM	23	12	59382,6	4948,55
KO_EM_EM_EM	24	6	34624	5770,67
KO_EM_EM_EM	25	8	50620,3	6327,54
KO_EM_EM_EM	26	9	60137,1	6681,9
KO_EM_EM_EM	27	9	61105,4	6789,49
EM	28	0	0	0
EM	29	0	0	0
EM	30	0	0	0
EM	31	0	0	0
EM	32	0	0	0
EM	33	0	0	0
EM	34	0	0	0
EM	35	0	0	0
EM	36	0	0	0
EM	37	0	0	0
EM	38	0	0	0
EM	39	0	0	0
EM	40	0	0	0
EM	41	0	0	0
EM	42	0	0	0

EM	43	0	0	0
EM	44	5	11125,8	2225,16
EM	45	4	8964,15	2241,04
EM	46	1	2366,54	2366,54
EM	47	3	7833,34	2611,11
EM	48	2	5814,47	2907,24
EM	49	2	6123,04	3061,52
EM	50	5	16402,5	3280,51
EM	51	3	10551,7	3517,24
EM	52	4	14103,9	3525,98
EM	53	10	36902,4	3690,24
EM	54	10	37177,5	3717,75
EM	55	5	19008,2	3801,63
EM	56	6	24426,1	4071,01
EM	57	3	12235,7	4078,56
EM	58	14	58121,4	4151,53
EM	59	10	42922,3	4292,23
EM	60	15	64987,5	4332,5
EM	61	8	34940,2	4367,53
EM	62	1	4414,79	4414,79
EM	63	16	72320	4520
EM	64	5	23523,9	4704,77
EM	65	3	14151,2	4717,06
EM	66	5	23817,4	4763,49
EM	67	9	43518,2	4835,36
EM	68	14	68591,2	4899,37
EM	69	10	49185,2	4918,52
EM	70	2	9978,94	4989,47
EM	71	15	75911,9	5060,79
EM	72	7	35683,6	5097,65
EM	73	10	52541,6	5254,16
EM	74	20	107575	5378,77
EM	75	17	97120,9	5712,99
EM	76	11	63258,8	5750,8
EM	77	20	118740	5936,98
EM	78	3	19299,4	6433,12
EM	79	10	64421,8	6442,18
EM	80	10	67111,7	6711,17
EM	81	13	89685,4	6898,88
EM	82	22	154740	7033,63
EM	83	15	106295	7086,32
EM	84	19	136690	7194,2
EM	85	15	109035	7269,01
EM	86	8	58557,3	7319,66
EM	87	8	60500,3	7562,53

EM	88	4	30599,7	7649,94
EM	89	16	124936	7808,52
EM	90	11	86540,2	7867,29
EM	91	7	55669,5	7952,78
EM	92	1	8148,48	8148,48
EM	93	14	118667	8476,19
EM	94	8	71203,9	8900,49
AF	95	0	0	0
AF	96	7	26109,6	3729,94
AF	97	3	12859,3	4286,45
AF	98	7	31795,8	4542,26
AF	99	15	72367,5	4824,5
AF	100	11	53419,2	4856,29
AF	101	4	19536,1	4884,03
AF	102	10	49376,3	4937,63
AF	103	10	51211,1	5121,11
AF	104	24	123698	5154,1
AF	105	8	42497,8	5312,22
AF	106	23	122227	5314,21
AF	107	9	48089,1	5343,23
AF	108	17	92240,5	5425,91
AF	109	15	82213,5	5480,9
AF	110	26	143992	5538,15
AF	111	11	61243,7	5567,61
AF	112	14	79353,2	5668,09
AF	113	16	91562,6	5722,66
AF	114	13	74883,4	5760,26
AF	115	5	29245,3	5849,05
AF	116	16	94524,2	5907,76
AF	117	24	143893	5995,53
AF	118	20	120307	6015,36
AF	119	24	147516	6146,48
AF	120	21	132791	6323,36
AF	121	17	109623	6448,44
AF	122	12	77520,5	6460,04
AF	123	13	86023,1	6617,16
AF	124	9	60415,1	6712,78
AF	125	24	161468	6727,84
AF	126	7	47250,9	6750,13
AF	127	16	110556	6909,75
AF	128	33	228088	6911,76
AF	129	12	83271,3	6939,28
AF	130	7	54159,6	7737,08
AF	131	19	150660	7929,45
AF	132	15	121586	8105,74

AF	133	7	69388	9912,58
UNK	134	0	0	0
UNK	135	0	0	0
UNK	136	0	0	0
UNK	137	0	0	0
UNK	138	1	1146,72	1146,72
UNK	139	1	1173,32	1173,32
UNK	140	5	14726	2945,21
UNK	141	7	25772	3681,72
UNK	142	9	41246,5	4582,94
UNK	143	19	103307	5437,22
UNK	144	20	110797	5539,85
UNK	145	14	78049,6	5574,97
UNK	146	1	5791,98	5791,98
UNK	147	6	36042,9	6007,16
UNK	148	14	84449	6032,07
UNK	149	6	40701,4	6783,57
UNK	150	4	35708,9	8927,22