

DNA

DNA, Deoxyribo Nucleic Acid of in het Nederlands, deoxyribonucleïnezuur bestaat uit twee ketens van vele duizenden aan elkaar gekoppelde nucleotiden. Het bevat de genetische instructies voor de ontwikkeling en de werking van organismen.

Nucleotiden

Een nucleotide is een bouwsteen van het DNA. Een nucleotide bestaat uit: een base. In DNA vormen twee complementaire basen een basepaar:

- een **purine** (Adenine, Guanine) of
- een **pyrimidine** (Thymine of Uracil, Cytosine).
- een **pentose** (suiker): (deoxy)ribose.
- een **fosfaatgroep**.

De vier verschillende nucleotiden in het DNA worden aangeduid met de letters **A, C, G** en **T**, de afkortingen voor adenine (**A**), guanine (**G**), cytosine (**C**) en thymine (**T**). T en A zijn gekoppeld in **baseparen** als T-A of A-T, net als C en G, C-G en G-C. Ze kunnen samen 4 combinaties aangaan. Het zijn basisinformatie-eenheden

Elk nucleotide bestaat dus uit stikstofhoudende basen, een pentose en een fosfaatgroep. De suiker en het fosfaat vormen de ruggengraat van een DNA-molecule.

Nucleotiden zijn de bouwstenen van DNA.

Het DNA is een molecule die bestaat uit duizenden nucleotiden, zeer lange ketens van baseparen (A-T, C-G enzovoort). De mens heeft in de kern van elke lichaamscel 46 DNA-moleculen. Een DNA-molecule heeft de vorm van een wenteltrap. Deze draait zelf rond in een dubbele spiraal rond eiwitbolletjes.

Zeer lange ketens nucleotiden vormen nucleïnezuren.

Nucleïnezuur (of kernzuur), is een molecule die als functie heeft te zorgen voor de opslag en overdracht van erfelijke informatie en de 'vertaling' daarvan bij de aanmaak van celspecifieke eiwitten.

DNA-moleculen komen voor op twee verschillende plaatsen in de cellen van ons lichaam, in de mitochondria, mitochondriaal DNA (mtDNA), en in de celkern (nucleus), nucleair (celkern-) DNA. Dat laatste bevat de genen die b.v. de ontwikkeling van het embryo controleren, die determineren of we groot of klein zullen zijn, blauwe of bruine ogen zullen hebben enzovoort. Dit type DNA zit in de kern van elke cel van ons lichaam en wordt samengebondeld in chromosomen in dewelke de genen gerangschikt zijn voor allerlei kenmerken.⁽⁴⁴⁰⁾

Het nucleaire DNA telt 3 miljard elementen, het mtDNA telt er slechts 16.500.

Chromosomen

DNA-moleculen en eiwitten vormen samen een chromosoom

De dubbele spiraal van het DNA is zelf ook nog eens opgerold. Zo ontstaat een driedubbele spiraalketen, het chromosoom. De mens heeft 46 chromosomen. Zij zijn per twee gegroepeerd, er zijn dus 23 paar chromosomen. Van de 23 chromosoomparen bepaalt één paar het geslacht, mannen hebben een X- en een Y-chromosoom

⁴⁴⁰ Het oudste aan een mens onttrokken mtDNA komt van een neanderthaler uit Sclayn (België) en is ongeveer 100.000 jaar oud.

(XY), vrouwen hebben twee X-chromosomen (XX).

Vrouwen geven dus aan hun nageslacht altijd een X-chromosoom door. Mannen hebben een combinatie van een X- en een Y-chromosoom. Zij geven aan hun nageslacht dus een X- of een Y-chromosoom door. Erft het kind de combinatie XX van zijn ouders dan is het een meisje, erft het XY dan is het een jongen.⁽⁴⁴¹⁾

Genen

Wat is een gen? *“Eén gen codeert voor één polypeptide. Meerdere peptiden samen vormen een eiwit of een enzym. Dus: meerdere genen coderen voor één eiwit.”*⁽⁴⁴²⁾

Genen zijn herkenbaar aan de soms optredende grotere of kleinere veranderingen door mutatie in de volgorde van de nucleotiden, waardoor afwijkende vormen ontstaan. Elk van de alternatieve genvormen heet een allel, dit is een paar genen dat code bevat voor bepaalde eigenschappen.⁽⁴⁴³⁾

Een gen bestaat uit een bepaald gedeelte van een nucleïnezuur in de cel (bij de meeste organismen DNA, bij virussen RNA).

Het is in de draadvormige structuur in de celkern dat de genen gelegen zijn die zijn opgebouwd uit DNA. De genen zijn de dragers van de erfelijke informatie. De mens erft zijn eigenschappen, zijn genetische code van zijn ouders. Die genetische code is opgeslagen in het DNA dat in elke menselijke cel aanwezig is. Ze wordt uitgedrukt in de synthese van specifieke eiwitten, die onder meer als enzymen werkzaam zijn in de stofwisseling. De overdracht van informatie van generatie op generatie geschiedt vooral door de chromosomen. Daarin is het grootste deel van het cellulaire DNA opgeslagen. Een gen is de biologische eenheid van erfelijkheid. De mens heeft ca. 30 000 tot 40 000 genen. Het gen kan, omdat het als code voor een of meerdere eiwitten fungeert, gezien worden als een erfelijke eenheid van een of meer functies. Elk gen heeft een vaste plaats in een bepaald chromosoom. De op deze wijze bewerkstelligde recombinatie van genen is mede de basis voor de evolutie van de organismen. De aanwezigheid van genen is niet beperkt tot chromosomen, ook mitochondria en chloroplasten bezitten DNA met de functie van genen.⁽⁴⁴⁴⁾

De cel

Een cel is de basisbouwsteen van alle organismen, (behalve virussen).

In principe is de cel een klein hokje, bestaande uit een dikke vloeibare massa, het cytoplasma. De buitenste laag van het cytoplasma is het celmembraan; het is steviger dan de rest van het cytoplasma. In het cytoplasma bevinden zich een aantal structuren, dat betrokken is bij de stofwisseling en de voortplanting van de cel. Een van deze structuren is de celkern. De chromosomen bevinden zich in de celkern, het zijn dragers van de erfelijke eigenschappen. Bij lager ontwikkelde cellen (bacteriën) die geen celkern bevatten, liggen de chromosomen vrij in het cytoplasma.⁽⁴⁴⁵⁾

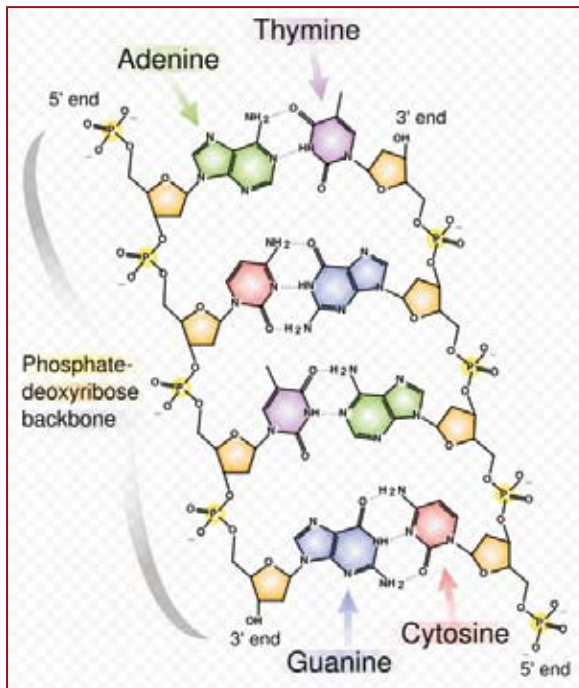
⁴⁴¹ Dit geldt voor de overgrote meerderheid. De situatie is complexer dan dit. Er bestaan ook andere combinaties zoals XXY.

⁴⁴² met dank aan ere-Prfo.Dr. Walter Verraes

⁴⁴³ Allel: Van elk gen zijn twee of meer uitvoeringen mogelijk. Elke uitvoering wordt een allel genoemd. Het begrip gen is dus een overkoepeling van twee of meer alternatieven. (Wikipedia NL).

⁴⁴⁴ Gen, Encarta® - Encyclopedie. © 1993-2002 Microsoft Corporation/Het Spectrum.

⁴⁴⁵ Cel, Encarta® - Encyclopedie. © 1993-2002 Microsoft Corporation/Het Spectrum.



Celdeling en celsplitsing

Bij een celdeling ontstaan twee exacte kopieën van de moedercel. Celdeling is niet te verwarren met celsplitsing die gebeurt bij de voortplanting wanneer een cel (van een man of vrouw) splitst en de helft van de chromosomen zich verenigt met een overeenkomstige helft van een andere cel (van de andere sekse).

De mens erft 23 chromosomen van zijn vader en 23 van zijn moeder die samen opnieuw 23 chromosomenparen vormen. Zo kan hij bijvoorbeeld de eigenschap voor de kleur van zijn ogen blauw erven van zijn vader en bruin van zijn moeder. Dit individu zal dan bruine ogen hebben,

omdat bruin een overheersende eigenschap is. Deze persoon zal echter aan zijn kinderen slechts één gen doorgeven, de eigenschap blauw of bruin voor de kleur van de ogen. Op deze manier worden de eigenschappen door combinatie van een gen van de vader en één van de moeder doorgegeven aan de kinderen.

Moleculaire klok en mutaties

DNA kan veranderen omdat een fout gebeurt in het dupliceren. Over duizenden, tienduizenden jaren ontstaan door mutaties onvermijdelijk kleine verschillen in het DNA. In het DNA van een celkern (nucleus) wordt dat meestal 'opgemerkt' en door speciale 'herstelmoleculen' gecorrigeerd. In de mitochondria (mtDNA) is dat herstelmechanisme veel minder werkzaam, mutaties gebeuren er dus aan een veel hoger ritme. Hoe minder verschillen er zijn tussen het mtDNA van verschillende mensen des te nauwer mensen verwant zijn. Als een cel zich splitst, splitst ook het DNA. De moleculaire klok schat de gemiddelde tijd tussen twee mutaties. In 1987 veronderstelde men dat er 2% tot 4% mutaties per miljoen jaar waren bij mtDNA. Indien deze veronderstelling juist is kan men op basis van het aantal mutaties het tijdstip berekenen waarop b.v. twee mensen een gemeenschappelijke voorouder hadden. Indien de veronderstelling echter verkeerd geschat is of indien met andere woorden de moleculaire klok langer of korter tikte dan wordt de datum dat de laatste gemeenschappelijke voorouder leefde onderschat of overschat. "De keuze van de mutatiesnelheid is dus primordiaal voor het schatten van de datums van divergentie." Het probleem van de moleculaire klok is dat we niet met zekerheid weten met welke gemiddelde tijdseenheid bepaalde genen muteren. Het blijft altijd een schatting, het toeval blijft een rol spelen.

In de loop der tijden kunnen genen onveranderd blijven bestaan maar kunnen er

daarnaast en tegelijkertijd (gemuteerde) kinderen, (tweemaal gemuteerde) kleinkinderen enzovoort ontstaan van een gen.⁽⁴⁴⁶⁾

Het Y-chromosoom heeft een lagere mutatiegraad dan het mtDNA.

Mitochondriaal DNA (mtDNA): de vrouwelijke lijn

Mitochondria bevinden zich in al onze cellen. Ze zijn zonder twijfel een overblijfsel van een zeer ver verleden toen ze nog symbiotische bacteriën waren die op een bepaald moment gefusioneerd moeten zijn met cellen van onze voorlopers. Mitochondria lijken op batterijen, ze zorgen voor de energie van onze cellen, het zijn microscopische structuren die cellen van biochemische brandstof voorzien.⁽⁴⁴⁷⁾

Ze hebben een genetische code die sterk verschilt van die van de rest van ons organisme.

Ze dragen hun eigen set genen mee op een kleine string DNA, apart van de centrale bewaarplaats van de genen in de celkern. Het mtDNA komt overvloedig voor, er zijn honderden kopieën van het mitochondriale DNA in elke cel. Het hercombineert niet, dit wil zeggen dat de porties van het DNA van de moeder niet uitgewisseld worden met dat van de vader. Het wordt dus enkel via de moeder doorgegeven aan dochters en zonen. Mannen geven het echter niet door aan hun nageslacht, enkel vrouwen. Het muteert snel in vergelijking met ander DNA omdat de correctiemoleculen die in de celkern bestaan en daar mutaties corrigeren, in het mtDNA veel minder effectief zijn.⁽⁴⁴⁸⁾ mtDNA heeft dus een grote genetische variatie, laat toe om stambomen in de vrouwelijke lijn op te stellen en is daardoor een dankbaar studieonderwerp.

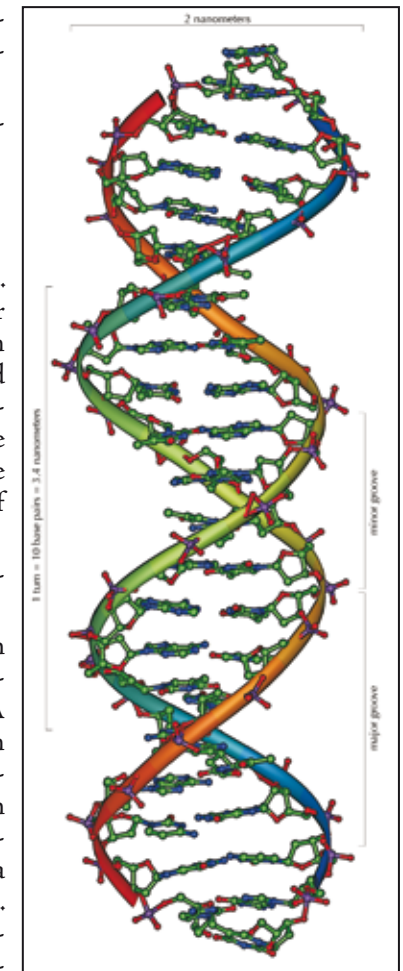
Versillen tussen mtDNA-sequenties zijn enkel het gevolg van mutaties. Naarmate de tijd verder gaat accumuleren de mutaties in de steeds minder verwante sequenties.⁽⁴⁴⁹⁾

446 Véronique Barriol in *Aux Origines de l'humanité* (Ed. Yves Coppens et Pascal Picq), Fayard, p. 482-490.

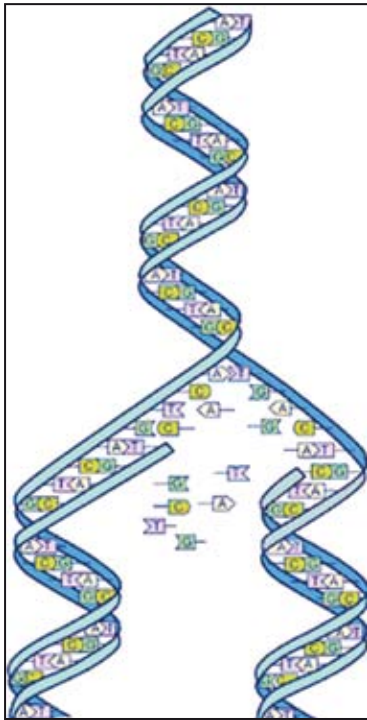
447 Zij zijn verantwoordelijk voor de productie van energie. Mitochondria bevatten enzymen die helpen energie uit voedingsstoffen vast te leggen in de vorm van adenosinetriphosfaat (ATP), dat door de cel direct als energiebron gebruikt kan worden. Mitochondria zijn vaak geconcentreerd rond cellulaire structuren die grote hoeveelheden energie nodig hebben, zoals de zweepdraad die verantwoordelijk is voor de beweging van spermacellen van gewervelde dieren en van eencellige planten en dieren. (Encarta® - Encyclopedie. © 1993-2002 Microsoft Corporation/Het Spectrum. Alle rechten voorbehouden.)

448 Mungo Man. <http://www.hominids.com/donsmaps/mungo.html>

449 Maca-Meyer et al., Major genomic mitochondrial lineages delineate early human expansions. Published 13 Aug 2001. <http://www.biomedcentral.com/1471-2156/2/13>



En DNA-string.
(Created by Michael Ströck)



Celsplitsing (Wikipedia)

mtDNA heeft ongeveer één mutatie per 1000 generaties. Dat wil zeggen dat na onze oermoeder, Eva, er tussen 7 en 15 mutaties zijn geweest.⁽⁴⁵⁰⁾

Allan Wilson in 'Het mitochondriale DNA en de menselijke evolutie': "Hoe meer het mtDNA van mensen gelijk is, des te dichter zijn ze genetisch en is hun gemeenschappelijke voorouder. Uit het mDNA-onderzoek blijkt dat de gemeenschappelijke voorouder van de mens ongeveer 200.000 jaar geleden in Afrika leefde."⁽⁴⁵¹⁾

In 1995 kwam de studie uit van Satoshi Horai van het Japans *National Institute of Genetics*. Hij en zijn team hadden 16.500 basen-reeksen van het mitochondriaal genoom van drie mensen, een Afrikaan, een Europeaan en een Japanner en vier apen, een orang-oetan, een gorilla, een chimpansee en een bonobo geanalyseerd. Een buitengewoon breed onderzoek dat toeliet de mutatiesnelheid van primaten te berekenen. Op basis van de resultaten berekende Horai dat hedendaagse mensen rond 143.000 BP een gemeenschappelijke voorouder hadden. De Afrikaanse lijn had de grootste diversiteit. De moderne mens moest uit Afrika komen.⁽⁴⁵²⁾

Menselijk DNA mocht tot nog toe niet ouder zijn dan 100.000 jaar om met kans op succes onderzocht te worden.

Nucleair DNA

De hoeveelheid genetisch materiaal in de celkern (nucleus, vandaar nucleair DNA) van een cel is immens in vergelijking met wat men kan vinden in de mitochondria: er zijn naar schatting 30.000 tot 40.000 menselijke genen in ons DNA en de gebieden die het DNA controleren.⁽⁴⁵³⁾

Het nucleaire DNA wordt geleverd door 22 (van de in totaal 23) paar chromosomen

DNA-sequencing, het proces van het bepalen van de exacte volgorde van de 3 miljard chemische bouwblokken (basen genoemd en afgekort A, T, C, en G, zie hiervoor⁽⁴⁵⁴⁾) die het DNA van de 23 paar verschillende menselijke chromosomen uitmaken.

Er kunnen subtiele veranderingen optreden van in de opeenvolging van A, T, C, en G, de vier basissen die het DNA uitmaken, zonder dat de functie van het gen verandert. Bijvoorbeeld, een twee-basis opeenvolging zoals TG kan vijf keer na elkaar herhaald worden (TGTGTGTGTG) – of vier keer, of zes keer zonder dat de functie van het gen aange-

450 Stephen Oppenheimer, *Out of Eden. The Peopling of the World*, Constable, London, 2003, p. 38.

451 Véronique Barriel in *Aux Origines de l'humanité* (Ed. Yves Coppens et Pascal Picq), Fayard, p. 466.

452 Chris Stringer, *African Origins of Humanity. The Kibish Enigma*, Encarta Africana

453 Encarta® - Encyclopedie. © 1993-2002 Microsoft Corporation/Het Spectrum.

454 adenine (A), cytosine (C), guanine (G) en thymine (T)

tast wordt. Deze "short tandem repeats" (korte tandemherhalingen) muteren vaak.⁽⁴⁵⁵⁾

Genetische afstand

De genetische afstand tussen groepen is een maat voor de tijdsduur van de splitsing.

- De genetische afstand tussen orang-oetan en de andere primaten bedraagt: 830,7.
- Tussen de Gorilla en de rest van de stamboom: 278,6
- Tussen de broers Chimpansee en Bonobo: 129,4⁽⁴⁵⁶⁾
- Tussen de Afrikanen en Aziaten: 19 of 76.000 jaar.⁽⁴⁵⁷⁾
- Tussen Noord-Euraziaten en Zuidoost-Aziaten: 17 of 68.000 jaar.

De Ethiopiërs horen genetisch dichtst bij de Bosjesmannen, hun genetische afstand bedraagt 9,5 of 38.000 jaar. De afscheiding tussen de Khoisan enerzijds en de Ethiopiërs en Soedanezen anderzijds vond plaats 46.000 jaar geleden.

Er is weinig of geen overeenkomst tussen genetische afstand en de taal die men spreekt. De Lappen staan genetisch dichtst bij de Europeanen dan bij de Oeraliërs maar spreken wel een Fins-Oegrische taal.

De meerderheid van de Noord-Indiërs staat genetisch dichtst bij de Zuid-Indiërs maar spreken geen Dravidisch maar Indo-Europees, de taal van de genetische minderheid in Noord-Indië. De Ariërs hebben hun taal maar slechts een klein deel van de totale bevolking naar India meegebracht.

De Tibetanen zijn het nauwst verwant met de Koreanen en Japanners (genetische afstand 3,5 of 14.000 jaar). Tibetanen spreken talen uit de groep Tibeto-Chinees waar Koreaans en Japans niet bijhoren. Hun genetische afstand tot de Zuid-Chinezen is echter 19 of 76.000 jaar. Chinees of Han werd pas veel later naar Zuid-China verspreid.

Y-chromosoom, de mannelijke lijn

Het Y-chromosoom is de helft van één van de 23 chromosoom-paren. Het wordt van vader op zoon onveranderd doorgegeven behalve als er, wat zeer uitzonderlijk is, een mutatie optreedt. Het heeft een veel lagere mutatiegraad dan het mtDNA. Deze willekeurige mutaties worden markers genoemd. Als een marker geïdentificeerd is kunnen genetici terug gaan in de tijd en de mutatie natrekken tot het punt waar die het eerst verscheen. Het grootste deel van het Y-chromosoom (misschien wel 98%) bevat informatie die niet gebruikt wordt. Deze junkinformatie wordt doorgegeven hoewel ze geen enkele functie heeft. Het Y-chromosoom heeft slechts 83 werkende genen in tegenstelling tot bijna 1.000 werkende genen op het X-chromosoom.⁽⁴⁵⁸⁾

De studie die voor de doorbraak zorgde in verband met het onderzoek naar de evolutie van het Y-chromosoom kwam van Peter Underhill en zijn team van de *Stanford Universiteit* (Californië, VS). Ze onderzochten dit type DNA bij meer dan 1000

455 *Facts About Genome Sequencing*, 30.1.2004.

http://www.ornl.gov/sci/techresources/Human_Genome/faq/seqfacts.shtml

456 *Genetischer Distanzen zwischen Menschen und Primaten*.

<http://user.phil-fak.uni-duesseldorf.de/~wdl/Gen-Stammbaum.pdf>

457 De omrekening van de genetische afstand (die precies is) naar het aantal jaren mag enkel als een benaderende grootheid beschouwd worden.

458 *Y-chromosome*. http://en.wikipedia.org/wiki/Y_chromosome

mannen uit 22 verschillende gebieden. Zij vonden 87 nieuwe genetische kenmerken die hen hielpen om het erfelijkheidspatroon van Y-chromosoommutaties en -varianties te volgen.

De boom van het Y-chromosoom

Door te bepalen in welke volgorde de mutaties verschenen was Underhill in staat een stamboom op te stellen die de meest waarschijnlijke verwantschap tussen mannen, gebaseerd op hun Y-chromosoom, toont.

Iedere tak van de boom is bepaald door een nieuwe mutatie. Met andere woorden de mutaties in het Y-chromosoom vertellen ons, net als het mtDNA, waar de man heen trok toen hij Afrika verliet. Een trio van drie mutaties trad op vroeg na de verspreiding buiten Afrika. De meeste niet-Afrikaanse mannen hebben die mutatie. Er was een vroege migratie langs de Zuidkust van Azië tot in Zuidoost-Azië, Nieuw-Guinea en Australië.⁽⁴⁵⁹⁾

Bij de analyse van het Y-chromosoom is het veel moeilijker om de tijd tussen twee mutaties te schatten. De informatie van het Y-chromosoom is veel groter dan die van het mtDNA, er is dus veel potentieel voor variatie. "(...) *het Y-chromosoom is veel meer onderhevig aan drift dan mtDNA.*" Dat heeft als gevolg dat minder Y-chromosomen doorheen de geschiedenis blijven bestaan dan mtDNA-lijnen.⁽⁴⁶⁰⁾

Het DNA van de neanderthaler

Op basis van genetisch onderzoek kan men niet met zekerheid stellen dat de neanderthaler en Homo sapiens zich onderling hebben kunnen voortplanten maar de genetische verschillen tussen ons en de neanderthaler zijn niet erg groot. Zjef Peereboom, gedragsbioloog van de Antwerpse Zoo, denkt dat mensen zich met chimpansees zouden kunnen voortplanten. "*In theorie zou het zeker moeten kunnen – ze behoren tot dezelfde soort – maar uiteraard staat de ethiek in de weg. Ezels en paarden verschillen meer van mekaar en brengen toch ook kerngezonde muilezels voort? Al zie je daar al een ernstige storing: muilezels worden steriel geboren.*" Peereboom is niet de enige die de visie heeft dat chimpansees, bonobo's en mensen één soort vormen.⁽⁴⁶¹⁾

Onderzoek 1

Men heeft mitochondriaal DNA van de neanderthaler uit Feldhofen (D) kunnen extraheren. Dit werd vergeleken met dat van 2000 hedendaagse mensen en 59 chimpansees.

Het verschil tussen Homo sapiens en Homo sapiens Neanderthalensis.

Verskil tussen	Verskillende nucleotiden
Homo sapiens – neanderthaler	26 nucleotiden op 379
Homo sapiens – Homo sapiens	tussen 1 en 24 nucleotiden (gemiddeld 8)
Homo sapiens – chimpansee	gemiddeld 55

Dit wijst er op dat Homo sapiens en de neanderthaler lang geleden gescheiden werden. Volgens de resultaten van dit onderzoek schat men dat de splitsing zo'n 500.000 jaar oud is.⁽⁴⁶²⁾ Milford Wolpoff, één van de bekendste archeologen en voorstander van de multiregionale theorie leidt hieruit af dat de verschillen tussen beide mensentypes te klein zijn om van aparte soorten te spreken.

"*De neanderthaler van Feldhofen was niet noodzakelijk een aparte soort omdat het verschil tussen zijn mtDNA en het onze kleiner was dan dat tussen sommige chimpansee-onderzoeksoorten. mtDNA-verschillen tussen bepaalde hedendaagse individuen zijn groter dan die tussen de Feldhofer-neanderthaler en hedendaagse mensen.*"⁽⁴⁶³⁾

Sommige biologen verdedigen dat wij één geslacht (soort) vormen met de chimpansees en bonobo's. In die optiek horen daar dus automatisch ook de australopitheken en alle andere takken van de homininen bij.

Andere onderzoekers stellen dat er vanaf Homo habilis/rudolfensis slechts één soort is geweest, homo. Nog anderen zoals Lubenow en Mehlert, houden het op het verschijnen van homo ergaster/erectus als het begin van het geslacht homo.⁽⁴⁶⁴⁾ De smalste omschrijving stelt dat Homo sapiens een aparte soort (geslacht) is. Milford Wolpoff zou kunnen gelijk hebben met zijn standpunt dat Homo sapiens en de neanderthalers één soort vormden die zich vermengde. Harde bewijzen zijn er tot op vandaag niet. Meerdere jaren van onderzoek naar het mtDNA van neanderthalers wijst in de tegenovergestelde richting.

461 (Bvu), *Chimpansees lijken meer op mensen dan op andere apen.* Het Laatste Nieuws, 26.1.2006, p. 8.

462 Jean-Jacques Hublin, *Origine et évolution des Néandertaliens*, in *Aux Origines de l'humanité* (Ed. Yves Coppens et Pascal Picq), Fayard, p. 401-406.

463 *Genetic Evidence, Ancient DNA.* <http://www.neanderthal-modern.com/genetic2.htm>

464 *Creationist Arguments: Homo erectus, Are erectus and sapiens the same species?* http://www.talkorigins.org/faqs/homs/a_erectus.html#dmanisi

459 Diane Kightlinger, *Study Boosts 'Out of Africa' Theory*, November 12, 2000.

<http://www.raceandhistory.com/Science/outofafrica.htm>

460 Stephen Oppenheimer, *Out of Eden. The Peopling of the World*, Constable, London, 2003, p. 41 & p. 330.

Onderzoek 2

In een ander onderzoek vergeleek een groep genetici uit Italië en Spanje o.l.v. Giorgio Bertorelle⁽⁴⁶⁵⁾ het mitochondriale DNA van twee Homo sapiens die respectievelijk 25.000 en 23.000 jaar oud waren en neanderthalers die tussen 42.000 en 29.000 jaar oud waren. Deze werden dan op hun beurt vergeleken met een grote database van hedendaags menselijk mtDNA.

De DNA-stalen van neanderthalbotten werd geëxtraheerd uit:

- Een neanderthaler die gevonden werd in de grot van Vindija in Kroatië waarvan de ouderdom werd geschat op 42.000 jaar.
- Een fossiel van de Feldhofer Grot (D)⁽⁴⁶⁶⁾, ongeveer 40.000 jaar oud.
- Het neanderthalkind gevonden in de Mezmaiskaya grot (Noordwest-Kaukasus), circa 29.195 jaar oud.

Het mtDNA van de oude Europese Homo sapiens viel volledig binnen het spectrum van de genetische variatie van hedendaagse Europeanen maar verschilde sterk van dat van de neanderthalers. De onderzoekers besloten dat het onwaarschijnlijk is dat de neanderthalers bijdroegen aan de menselijke genenpoel. Bij vermenging is het vaak de man van de zich verspreidende groep die het doet met de vrouw van de andere cultuur.⁽⁴⁶⁷⁾ In het geval dat mannelijke Homo sapiens en zich vermengden met neanderthalvrouwen dan zou hun neanderthal-mtDNA doorgegeven zijn maar daar vindt men geen sporen van bij hedendaagse mensen.

De vergelijking tussen de sequenties HVR I & HVR II⁽⁴⁶⁸⁾ duidt op een gemiddelde van 35,3 substituties tussen de neanderthaler en Homo sapiens. Voor Homo sapiens onderling is het verschil 10,9 substituties. Als men enkel naar HVR I kijkt bedraagt het verschil tussen de neanderthaler en de hedendaagse mens 26 substituties. HVR I is minder variabel dan HVR II. Belangrijk is dat een zeer klein aantal moderne mensen (0,037% of 37 op 100.000) onderling grotere verschillen heeft dan het gemiddelde verschil tussen Homo sapiens en de neanderthalers.⁽⁴⁶⁹⁾

Genetische diversiteit binnen verschillende soorten	
De diversiteit van de neanderthaler bedraagt	3,73% onderling
De diversiteit van Homo sapiens	3,43% onderling
De diversiteit van Chimpansees	14,82% onderling
De diversiteit van Gorilla's	18,57% onderling

De variatie tussen Homo sapiens en neanderthaler is logisch kleiner dan die tussen chimpansees onderling.⁽⁴⁷⁰⁾ Een genetische participatie van de neanderthaler in Homo sapiens kan verloren gegaan zijn.⁽⁴⁷¹⁾ Volgens Gregory Adcock die het onderzoek leidde naar het mtDNA van het Australische Homo sapiens-fossiel LM3 (ca. 42.000 jaar oud, zie verder in boek 2, p.60, p.73 en p.118), stamde dit af van een mtDNA-lijn die ouder was dan die van de mitochondriale Eva, de oermoeder van alle hedendaagse mensen, maar stond dit mtDNA even ver van hedendaagse mensen als het neanderthal-mtDNA er van verwijderd is. John Relethford *“Als de mitochondriale DNA-sequenties, vandaag aanwezig in een moderne mens (LM3) kunnen uitsterven dan is misschien iets gelijkaardig gebeurd met het mitochondriale DNA van de neanderthalers.”*⁽⁴⁷²⁾ Als dat het geval is dan sluit de afwezigheid van neanderthal-mtDNA bij hedendaagse mensen niet uit dat Neanderthalensis heeft bijgedragen aan onze genen via het nucleaire DNA.⁽⁴⁷³⁾ Andere onderzoekers gaan niet zo ver in hun besluiten.

Dit DNA-onderzoek wees uit dat de neanderthalers (net als Homo sapiens) afkomstig zijn van een relatief klein aantal individuen. De neanderthaler leek op ons doordat er onder neanderthalers weinig genetische variatie was wat wel het geval is bij de chimpansees. Zowel bij de neanderthalers als bij Homo sapiens zou de kleine genetische variatie kunnen komen doordat deze bevolkingen herhaaldelijk door genetische bottlenecks (een flessenhals waarbij een groot deel van de bevolking stierf) zijn gegaan. Bij de neanderthalers zorgde het herhaaldelijk oprukken van het ijs op zich al voor flessenhalzen waardoor de neanderthalbevolking enkel in Zuid-Europa kon overleven en de genetische variatie gereduceerd werd.

In Afrika is de exacte reden voor deze flessenhalzen niet bekend maar het ziet er naar uit dat het ook daar meermaals gebeurde. (Zie verder in het volgend hoofdstuk over Homo sapiens.)⁽⁴⁷⁴⁾ Homo sapiens in Europa heeft een relatief kleine genetische variatie omdat ze afkomstig is van een kleine groep die ongeveer 80.000 jaar geleden Afrika verliet. Tussen 50.000 BP tot 40.000 BP vertrok een groep uit het Indische subcontinent die niet alle daar voorkomende genetische variatie kon meedragen. Homo sapiens had dus de tijd niet om veel interne variatie te ontwikkelen.

De scheiding tussen de voorlopers van neanderthalers en Homo sapiens gebeurde naar gelang het DNA-onderzoek tussen:

470 John Relethford vermeldt dat het verschil tussen Homo sapiens en de neanderthaler van Feldhofen kleiner is dan dat tussen twee op drie chimpansee-ondersoorten.

John H. Relethford, *Ancient DNA and the origin of modern humans*, PNAS, January 16, 2001, vol. 98 u no. 2, p. 390. <http://www.pnas.org/cgi/reprint/98/2/390>

471 Véronique Barriel in *Aux Origines de l'humanité* (Ed. Yves Coppens et Pascal Picq), Fayard, p. 503-504.

472 John H. Relethford, *Ancient DNA and the origin of modern humans*, PNAS, January 16, 2001, vol. 98 u no. 2, p. 390-391. <http://www.pnas.org/cgi/reprint/98/2/390>

473 *The Modern Human Origins Morass*, January 29, 2001.

<http://www.sciam.com/article.cfm?articleID=0009EA76-8C30-1C75-9B81809EC588EF21>

474 Véronique Barriel in *Aux Origines de l'humanité* (Ed. Yves Coppens et Pascal Picq), Fayard, p. 501.

465 Pat Shipman, *We are all Africans. Neandertals as European Ancestors?* *Scientific American*, november-december 2003. <http://www.americanscientist.org/template/AssetDetail/assetid/28338/page/5>

466 De Feldhofer grot in het dal van het riviertje de Neander is de plaats waar de resten gevonden werden van een neanderthaler die de naam gaf aan de soort. Men slaagde er in om uit deze vondst mtDNA te puren.

467 Hillary Mayell, *Neandertals Not Our Ancestors, DNA Study Suggests*, *National Geographic News*, May 14, 2003 (gebaseerd op: May 12-16 issue of the *Proceedings of the National Academy of Sciences*).

468 HVR = région hypervariable de la région de contrôle, hypervariabel controlegebied. Véronique Barriel in *Aux Origines de l'humanité* (Ed. Yves Coppens et Pascal Picq), Fayard, p. 500.

469 Een hernieuwd onderzoek van dezelfde gegevens wees in dezelfde richting. “The computation of pairwise distances between the 171 randomly selected sequences and the Neandertals rendered 1.6% of human-human comparisons larger than the smallest difference between Neandertals and humans. Likewise, 27% of the comparisons are lower than the largest human-human difference. This result suggests that Neandertals sequences are not so different from those of extant humans, in contrast to the NSG claims.” In: Gutiérrez, Sánchez and Marin. *A reanalysis of the ancient mitochondrial DNA sequences recovered from Neandertal bones*. *The Society for Molecular Biology and Evolution*, 2002. <http://mbe.oupjournals.org/cgi/reprint/19/8/1359> De auteurs merken ook op dat de genetische afstand van de jongste neanderthaler tot Homo sapiens de kleinste is van de drie.

- + 690.000 BP en 550.000 BP (Krings et al. 1997)
- + 741.000 BP en 317.000 BP (Krings et al. 1999)
- + 853.000 BP en 365.000 jaar geleden (*Ovchinnikov et al. 2000*).

Men ging er in deze van uit dat de splitsing tussen chimpansee en de voorlopers van de mens tussen 5 en 4 miljoen jaar geleden gebeurde. Vandaag veronderstelt men dat dit 7 à 6 miljoen jaar geleden was, wat als gevolg heeft dat de splitsing tussen voorlopers van neanderthalers en Homo sapiens langer dan 500.000 jaar geleden gebeurde. De splitsing tussen de neanderthalers van Oost- en van West-Europa, op basis van het genetische onderscheid, moet gebeurd zijn tussen 352.000 BP en 151.000 BP⁽⁴⁷⁵⁾ (*Ovchinnikov et al. 2000*).

Onderzoek 3

In een derde onderzoek (gepubliceerd in 2004) werd bekend gemaakt dat uit 4 nieuwe neanderthalfossielen en 5 vroege Homo sapiens-fossielen mtDNA gepuurd werd. Het mtDNA van de neanderthalers (2 uit Vindija, 1 uit Engis en 1 uit la Chappelle-aux-Saints) kwam overeen met dat van de hiervoor vermelde Homo Neanderthalensis. Het kwam niet overeen met het mtDNA van de vroege Homo sapiens (2 uit Mladeč, 1 uit Cro-Magnon, 1 uit de Abri Pataud en 1 uit La Madeleine). De onderzochte fossielen van beide soorten hadden per soort geen mtDNA gemeenschappelijk. De nieuwe studie bevestigde met andere woorden de eerder bekomen resultaten. Het besluit was: "In combinatie met huidige mtDNA-gegevens, sluit dit elke grote genetische bijdrage door neanderthalers aan vroege moderne mensen uit maar het sluit de mogelijkheid van een kleinere bijdrage niet uit." Op het einde van de periode dat de neanderthalers leefden worden bij sommige zoals die van Mladeč en Vindija overgangskennmerken vastgesteld. Kenmerken die zouden kunnen wijzen op vermenging. In het hier vermeld onderzoek is daar echter geen bewijs van gevonden.⁽⁴⁷⁶⁾

Onderzoek 4

Uit een kies van de neanderthalonderkaak die in Sclayn (B) was gevonden werd in 2006 mtDNA getrokken en vergeleken met dat van andere neanderthalers. Het mtDNA van Scladina (Sclayn, B) staat verder van Homo sapiens dan dat van neanderthalers die tussen 42.000 en 29.000 BP leefden. De resultaten suggereren ook dat de genetische variatie 100.000 jaar geleden groter was dan tussen 42.000 en 29.000 jaar geleden. Een andere mogelijkheid is dat men vandaag de bewegingen van DNA over langere periodes nog niet goed begrijpt.⁽⁴⁷⁷⁾ Het zou kunnen dat er herhaalde bewegingen waren waarbij bepaalde mtDNA-lijnen sterk groeiden (welke ook de reden mag zijn) en andere lijnen verdrongen.

475 *Ovchinnikov IV, Gtherstrom A, Romanova GP, Kharitonov VM, Liden K, et al. (2000) Molecular analysis of Neanderthal DNA from the northern Caucasus. Nature 404: 490–493.*

476 *David Serre, Andre' Langeney, Mario Chech, Maria Teschler-Nicola, Maja Paunovic, Philippe Menecier, Michael Hofreiter, Göran Possnert, Svante Pääbo, No Evidence of Neanderthal mtDNA Contribution to Early Modern Humans, PLOS Biology, March 2004, Volume 2, Issue 3, Page 0313-0318. http://www.eva.mpg.de/genetics/pdf/Serre_NoEvidence_PLoS_2004.pdf*

477 *Helen Briggs, Tooth gives up oldest human DNA, 6.6.2006 <http://news.bbc.co.uk/2/hi/science/nature/5052414.stm> En: Cell Press, 100,000 Year-old DNA Sequence Allows New Look At Neanderthal's Genetic Diversity, 7.6.2006, <http://www.sciencedaily.com/releases/2006/06/060607084833.htm>*

Andere geluiden

Alan Templeton, een bioloog van de *Washington University* in St. Louis, en zijn medewerkers hebben de genetische verwantschap tussen hedendaagse mensen geanalyseerd, om het spoor naar hun oorsprong te volgen. Het team van Templeton onderzocht tien verschillende stukken van het menselijke genoom en vergeleek DNA-sequenties van bevolkingen de wereld rond. Hij combineerde informatie van tien genetische gebieden. Acht van die gebieden waren gehaald uit nucleair DNA dat geërfd wordt van beide ouders en Y-chromosomen en mitochondria (mtDNA), geërfd van een van beide ouders.

Templeton leidde uit de resultaten af dat na de exit van Homo erectus (1,8 à 1,7 miljoen jaar geleden) een andere grote migratie uit Afrika tussen 800.000 en 400.000 jaar geleden tot stand kwam. Hij zag ook een recente remigratie terug van Azië naar Afrika en grote genetische uitwisseling tussen die groepen. Homo sapiens mengde zich volgens Templeton met bestaande groepen zoals de neanderthalers (Europa) en Homo erectus (Azië) in plaats van ze volledig te vervangen.⁽⁴⁷⁸⁾ Templeton vond in onderzoek van het nucleaire DNA bevestiging van zijn standpunt dat vroegere mensentypes zich vermengd hadden. Zijn standpunt wordt niet overgenomen door onderzoekers die niet overtuigd zijn van de multiregionale theorie.

Het standpunt van Templeton kreeg belangrijke steun door een studie uit 2006. Europeanen konden voor 5% afstammen van Neanderthalers volgens een onderzoek van Vincent Plagnol, researcher aan het *Department of Molecular and Computational Biology* aan de *Universiteit van Zuid-California*. West-Afrikanen zouden zich ook kunnen vermengd hebben met oudere mensentypes voor ongeveer 5%. (Wat Homo heidelbergensis zou moeten geweest zijn.)

Men onderzocht er patronen van voorouderlijke verbindingen bij 135 personen. Aan de hand van statistieken en computermodellen focuste men op onevenwichten in verbindingen of secties in genen die geen zin hadden als moderne mensen zich enkel onderling hadden voortgeplant. Deze ontbrekende genetische verbindingen pasten enkel als in het model een andere menselijke bevolking werd ingebracht voor 5% van het nucleaire DNA. Dit wordt bij elke generatie voor de helft van één van beide ouders geërfd. Dat heeft als gevolg dat het zeer moeilijk is om er stambomen van op te stellen wat gemakkelijk is bij mtDNA- en Y-chromosomen.

Men heeft hier zuiver statistische methodes gebruikt die als dusdanig valabel zijn maar die verdere bevestiging vragen. De onderzoekers zijn akkoord met vroegere onderzoeken die geen neanderthal-mtDNA aan het licht brachten bij moderne mensen. Als er genen zijn doorgegeven door Neanderthalers dan moeten ze in het nucleaire DNA overleven. Toekomstige analyse van het nucleaire DNA zou veel informatie over vermenging kunnen opleveren.⁽⁴⁷⁹⁾

Hadden neanderthalers ook rood haar?

In een onderzoek naar nucleair DNA van Europese neanderthalers werd vastgesteld dat bij een Melanocortin 1 receptor (MC1R)-allele bij neanderthalers op dezelfde plaats mutaties – maar niet dezelfde mutaties – bestonden als bij hedendaagse

478 *Templeton, A. R. Out of Africa again en again. Nature 416, 45 - 51 (2002).*

479 *Vincent Plagnol, Jeffrey D. Wall, Possible Ancestral Structure in Human Populations, PLoS Genet 2(7): e105. doi:10.1371/journal.pgen.0020105, 17.2.2006. <http://www.plosgenetics.org/article/info:doi/10.1371/journal.pgen.0020105> Jennifer Viegas, Are you part-Neanderthal? 23.8.2006, 17.2.2006. http://abc.net.au/science/news/ancient/AncientRepublish_1722109.htm*

mensen Varianten van MC1R veranderen de kleur van het haar en de huid. Dit kan inhouden dat neanderthalers gelijkaardige variaties van huidskleur en haarkleur hadden als hedendaagse Europeanen, bijvoorbeeld ook rood haar. De neanderthalers kunnen dus een gelijkaardig proces hebben meegemaakt als de moderne mensen die later in Europa aankwamen.⁽⁴⁸⁰⁾ Dit onderzoek wijst op een gelijklopende evolutie voor twee takken van de mensheid die uit de tropen kwamen. Als de nood om de werking van UV-stralen op te vangen kleiner wordt krijgen mutaties (op MC1R) en kans om te overleven en zich te verspreiden. Aangezien mensen met een blekere huid beter vitamine D kunnen aanmaken hebben zij meer kansen om te overleven in noordelijke gebieden.

Het dagelijkse vlees van de Sterke Jagers,

De neanderthalers waren grote vleeseters (tot 80% van hun voedsel), ze haalden volgens meerdere studies hun voedsel voornamelijk van de jacht. Hun menu was vergelijkbaar met dat van wolven. Gedurende tienduizenden jaren leefden de neanderthalers als jagers en verzamelaars op de vlakten, wouden en bergen van Noord- en West-Eurazië.⁽⁴⁸¹⁾ Zij waren waarschijnlijk buitengewoon moedig want de prooien waar ze op jaagden waren vaak gevaarlijke dieren: onder andere mammoeten, rinocerossen, bizons en beren. Mammoeten hadden niet enkel een zeer dikke, dubbele vacht maar ook een vel dat op plaatsen 2,5 cm dik was waaronder dan nog een speklaag van 8 à 10 cm lag. De voorkeur van de neanderthalers ging uit naar grote dieren die veel vlees op brachten: paarden, oerossen, reuzenherten (megaloceros), bizons.

Ze vielen deze dieren aan met hun speren van 2,4 meter lang, uitgerust met stenen punten. Hun vele zware kwetsuren waren waarschijnlijk het gevolg van hun manier van jagen. Neanderthalensis versmaadde kleinere dieren niet, vogels en klein wild stonden eveneens op zijn menu. Hij jaagde soms selectief, volgens de leeftijd en het geslacht van dieren, waarbij hij als doel had om de reproductie van kuddes niet in gevaar te brengen. Selectief jagen is bijvoorbeeld eerder jagen op mannetjes en niet op vruchtbare vrouwtjes. Er zijn minder mannetjes nodig voor een succesvolle reproductie dan vrouwtjes.⁽⁴⁸²⁾

Volgens Marylène Patou-Mathis: *“Fysiek en mentaal perfect aangepast is de neanderthaler zonder twijfel de grootste jager van alle tijden geweest. De praktijk van het jagen en de sociale gevolgen die er uit voortvloeien onderscheiden hem van zijn voorgangers en brengen hem nader tot ons.”* en *“Terzelfdertijd prooi en predator, de neanderthaler leefde in en van de natuur; hij was ermee in symbiose. Zijn bestaan hing grotendeels af van de dieren, hij kwam er permanent mee in aanraking. Op die manier nam de dierenwereld een centrale plaats in in zijn mentale schema’s.”*

480 Carles Lalueza-Fox, *A Melanocortin 1 Receptor Allele Suggests Varying Pigmentation Among Neanderthals*, Science, Publishes Online October 25, 2007.

481 Jean-Jacques Hublin, *Origine et évolution des Néandertaliens*, in *Aux Origines de l'humanité* (Ed. Yves Coppens et Pascal Picq), Fayard, p. 388. Zie ook: Michael P. Richards, Paul B. Pettitt, Erik Trinkaus, Fred H. Smith, Maja Pajunovic, and Ivor Karavanic, *Neanderthal diet at Vindija and Neanderthal predation: The evidence from stable isotopes*, PNAS | June 20, 2000 | vol. 97, no. 13, p. 7663-7666. <http://www.pnas.org/cgi/content/full/97/13/7663> “Het isotoop-bewijs bewijst overtuigend dat de neanderthalers zich gedroegen als carnivoren van topniveau, die bijna al de proteïne van hun dieet haalden uit dierlijke bronnen. Vroege neanderthalers in Frankrijk en België toonde gelijkaardige resultaten en een patroon van de Europese neanderthaler-aanpassing als carnivoor komt naar voor.”

482 Marylène Patou-Mathis, *Neanderthal, Une autre humanité*, Perrin, Paris, 2006, p. 117 en 111.

Een vorm van totemisme bij de Neanderthalers?

Kenden de neanderthalers het totemisme of een eigen versie van het totemisme⁽⁴⁸³⁾? Er zijn misschien een paar aanwijzingen in de archeologische vondsten. De vondst van de berenschedels in Regourdou (F) en de Drachenlochgrot (D) zou kunnen wijzen op een (eigen) vorm van totemisme. In Regourdou legde Neanderthalensis stenen op een hoop, een soort tumulus, waarvan er meerdere gevonden werden. Onder een van deze steenhopen werd een skelet gevonden. Het was er gelegd in oost-west-richting, de knieën opgetrokken onder de borst, samen met twee botten van een bruine beer, bedekt met een plaat van kalksteen waarop een ander bot van een bruine beer lag, een schraper, twee afslagen en een vuurstenen kern. Daarboven waren stenen opgehoopt waarin nog anderen botten van een beer en een hertengewei gevonden werden. Het geheel zag er uit als een kleine tumulus.

Heidelbergensis en Neanderthalensis hebben op twee beren die toen leefden gejaagd, de gevaarlijke (en vandaag enig overlevende) bruine beer en de beer van Deninger (de voorloper van de holenbeer). Gedurende honderdduizenden jaren hebben ze echter nooit op de holenbeer, een vegetariër, gejaagd. Hij was niet moeilijker te bejagen dan de aurochs (de oeros), zijn vlees was eetbaar, zijn vacht en vet bruikbaar. Waren het culturele redenen die mee brachten dat er niet op gejaagd werd? Had de holenbeer een andere plaats in de denkwereld van de neanderthalers en was het verboden om er op te jagen? De mogelijkheid mag niet uitgesloten worden. Vanaf 40.000 BP verandert zijn statuut echter, hij wordt een ordinaire prooi zoals blijkt uit vondsten in Arcy-sur-Cure (F). Was de reden van deze gedragsverandering de aankomst van Homo sapiens die in de holenbeer geen speciaal dier, b.v. een totemdier, zag maar gewoon een prooi?

Men kan niet met zekerheid besluiten dat de neanderthalers ook (een vorm van) totemisme kenden maar de voorwaarden waren wel aanwezig. De levenswijze van de neanderthaler was nog meer op de jacht gericht dan die van zijn Afrikaanse tegenhanger, Homo sapiens.⁽⁴⁸⁴⁾

Nomaden

Voor hun levenswijze hadden ze uitgestrekte gebieden nodig. Als het klimaat gematigd was (min of meer zoals vandaag) putten ze het wild uit in een gebied waarna ze naar een ander gebied trokken. Ze hadden telkens een ander basiskamp en daarnaast kampen die voor een grote trektocht zeer kort gebruikt werden. Ze bewogen zich meestal tot 20 km rond het basiskamp maar het gebeurde dat tochten tot 80 à 100 km en in Oost-Europa zelfs tot 200 en 300 km ver ondernomen werden. Als het klimaat kouder was, tijdens de ijstijden, waren ze verplicht de kuddes te volgen die in de zomer naar het noorden of hoger gelegen gebieden trokken en voor de winter de omgekeerde beweging maakten.⁽⁴⁸⁵⁾

483 Het totemisme is een geheel van rites en geloofspunten die verband houden met dieren, planten, objecten en verschijnselen. Totems zijn meestal dieren, soms bomen en andere planten. De mens vereenzelvigde zich in grote mate met zijn totemdier of totemplant. Het totemisme evolueerde van wat in aanvang waarschijnlijk een jachtritueel was tot een aantal religieuze overtuigingen. Centraal in het totemisme was de overtuiging dat men (de clan, de stam, het individu) de clan, de stam, het individu) dezelfde essentie en/of een speciale relatie ad met een (totem)dier, totem(plant) of een (totem)object.

484 Marylène Patou-Mathis, *Neanderthal, Une autre humanité*, Perrin, Paris, 2006, p. 125-126 en 154-156.

485 Marylène Patou-Mathis, *Neanderthal, Une autre humanité*, Perrin, Paris, 2006, p. 90-91.