



(ON)MOGELIJKHEDEN VAN archeologisch DNA IN NEDERLAND

DNA zit onder andere in de kernen van vrijwel alle lichaamscellen (fig. 1). De analyse van oud DNA betreft onder andere materiaal afkomstig van dierlijke- en menselijke skeletten uit archeologische opgravingen, mummies, fossiele beenderen uit depots en museumcollecties, hout, bewaard gebleven pollen en plantenresten, ijskernen en grondmonsters. Menselijk DNA wordt vooral betrokken uit botten, tanden en kiezen, maar kan ook uit gefossiliseerde uitwerpselen, nagels en haren gehaald worden. Kenmerkend voor oud DNA-monsters is dat er vaak nog maar weinig DNA aanwezig is en wat nog aanwezig is, is vaak beschadigd (gefragmenteerd).

1

STRUCTUUR
VAN HET DNA.

- GUANINE
- THYMINE
- ADENINE
- CYTOSINE

De voorwaarden voor het onderzoek van archeologisch DNA wijken daarom af van forensisch onderzoek. Of DNA-onderzoek van archeologisch materiaal daadwerkelijk een betrouwbaar en authentiek DNA-profiel oplevert, hangt af van verschillende factoren, zoals de kwaliteit van het DNA in het monster en de condities waaronder het is verzameld, bewaard en geanalyseerd. Dit geldt voor modern, forensisch DNA-onderzoek, maar zeker voor onderzoek van archeologisch DNA (Hofreiter et al. 2001, Poinar 2003). Het benutten van oud DNA brengt echter een aantal problemen met zich mee. De laatste jaren zijn in het oog springende publicaties verschenen waarbij de resultaten niet allemaal even betrouwbaar bleken te zijn (Pääbo et al. 2004).

In dit artikel tracht ik de lezer enig inzicht te bieden in de mogelijkheden én onmogelijkheden van oud DNA onderzoek in Nederland. Aspecten die daarbij aan bod komen zijn een beschrijving van *the state of the art* en de (nieuwe) onderzoeksvragen die met behulp van oud DNA beantwoord kunnen worden. Maar ook: onder welke condities blijft DNA het beste bewaard, waaraan moeten opgraving, bemonstering, bewaring en analyse voldoen en hoe ziet de toekomst van archeologisch DNA-onderzoek in Nederland eruit?

Archeologische toepassingsgebieden en vraagstellingen

Niet alleen hele skeletten komen voor DNA onderzoek in aanmerking, ook losse botten en gebitselementen kunnen waardevolle informatie opleveren. Onderzoek naar oud DNA is alleen mogelijk met inhumaties en

ander onverbrand botmateriaal. Warmte en verbranding vernietigen DNA, waardoor het niet mogelijk is bruikbaar DNA uit crematieresten te halen.

Geschikte skeletdelen voor DNA-analyse zijn bij voorkeur gebitselementen en compact bot, zoals de diafyse van dijbeen en bovenarm. Gebitselementen bieden in principe de beste mogelijkheden, omdat het DNA beschermd wordt door het glazuurkapsel.

In de Nationale Onderzoeksagenda Archeologie (www.noaa.nl) wordt in een aantal hoofdstukken aandacht besteed aan de grote onderzoekspotentie van archeologisch DNA. Onderzoek van oud DNA maakt het immers mogelijk antwoorden op onderzoeksvragen te krijgen die op geen enkele andere wijze zijn te verkrijgen. Op abstract niveau kunnen we denken aan vragen met betrekking tot verwantschap, herkomst, migraties van personen en groepen, erfelijke aandoeningen en geslachtsbepaling. Vragen die betrekking hebben op migratie, adaptatie en etniciteit worden tot nu toe vooral met behulp van de analyse van de materiële cultuur beantwoord. Toepassing van oud DNA onderzoek biedt de fantastische mogelijkheid deze vragen aan de

SAMENVATTING

DNA-onderzoek is booming en de internationale ontwikkelingen in de biochemische analyse van oud DNA gaan op dit moment razendsnel. Ook in ons land is grote belangstelling voor de mogelijkheden die oud DNA voor de archeologie biedt; de toepassing ervan blijft echter nog in de kinderschoenen staan. De inhoud van dit artikel concentreert zich op de mogelijkheden van het onderzoeken van DNA afkomstig van oud menselijk materiaal onder de Nederlandse omstandigheden. En passant komt ook het onderzoek van oud dierlijk en plantaardig genetisch materiaal aan de orde.

resten van de mensen zelf te stellen. Een heel scala aan onderzoeksterreinen dient zich aan; voor sommige zijn maar weinig data nodig, voor andere zeer veel. Een korte impressie:

Van planten en dieren kan met DNA een exacte *soortbepaling* worden gedaan, daarmee kan per soort het domesticatiepatroon en de verspreidingsgeschiedenis worden bepaald (Pääbo et al. 2004).

Met DNA is het mogelijk om het *geslacht* van een individu vast te stellen als de gebruikelijke morfologische methoden geen uitsluitsel geven. Daarnaast kan ook van kinderen en

onvolwassen individuen het geslacht worden bepaald, waardoor bijvoorbeeld een vergelijking van de kindersterfte en dodenbehandeling van jongens en meisjes mogelijk wordt.

Als uitwerpselen worden geproduceerd komen er altijd darmcellen mee. Door bestudering van DNA uit fossiele uitwerpselen kunnen de exacte *voeding* en *eetgewoonten* bepaald worden, maar ook door welke sekse een drol is achtergelaten waardoor voeding en sekse gekoppeld kan worden. Onderzoek naar het *ontstaan en voorkomen van ziektes* veroorzaakt door parasieten of bacteriën zoals pest, lepra, syfilis, TBC en malaria zijn vanuit medisch



2

DE LUTINA MET HET SKELET VAN SCHIPPER JAN KISJES, VERGAAN OP DE ZUIDERZEE IN 1888. TIJDENS EEN KRACHTIGE NOVEMBERSTORM VERGING HET SCHIP DE LUTINA, MET AAN BOORD DE SCHIPPER EN ZIJN KNECHT REINDER TULP. HET SCHIP VERVOERDE EEN (KALKRIJKE!) LADING SCHELLEN EN METSELSTENEN VAN BRIELLE NAAR ZWARTSLUIS. IN 1976 WERD HET WRAK VAN DE LUTINA NABIJ HET HUIDIGE SWIFTERBANT OPGEGRAVEN.

FACTOR	GUNSTIG KANSRIJK VOOR DNA		ONGUNSTIG KANSARM VOOR DNA	
	GEHALTE	CONTEXT	GEHALTE	CONTEXT
Vochtgehalte	Laag	Grondwatertrap ≥ 6 Bijv. stroomrug, dekzandrug, stuwwal, löss	Hoog en/of fluctuerend	Grondwatertrap ≤ 5 Bijv. wateren, fluctuerende grondwaterspiegel
Zuurstofgehalte	Laag	IJs, berg Bijv. stuwwal, diep water, grintput	Hoog	Omgeving fluctuerende grondwaterspiegel
Kalkgehalte	Hoog (basisch)	Kalkcement, lemig, schelpen Bijv. kalkrijke löss, beekdal met diepe kwel, De Lutina	Laag	Bijvoorbeeld zandgronden
Zuurgraad (= voorspellend)	Neutraal of licht basisch	Fosfaatrijk, bodempH > 6.2 Bijv. kalkhoudende (zand)gronden, beekdalbodems	Zuur	BodempH < 6.2 Bijv. hoogveen, kustvenen, kalkarme (zand)gronden, katteklei
Temperatuur (= voorspellend)	(Extreem) laag en constant	Koude opslag IJs, berg, permafrost	(Extreem) hoog of sterk wisselend	Warme opslag Hete zomers, koude winters
Activiteit micro-organismen	Weinig	IJs, berg, permafrost	Veel	Warme opslag
Gehalte organisch materiaal	Veel	Bijv. terp, organisch rijke zee, Wadden, Westerschelde	Weinig	Warme opslag arme zandgronden
Gehalte metalen en zouten	Veel	Bijv. depositie met metalen voorwerpen; Waddenzee, Westerschelde	Weinig	

3

DE VOOR DE
CONSERVERING
VAN HET DNA
GUNSTIGSTE
EN ONGUNSTIGE
OMSTANDIGHEDEN
IN NEDERLAND.

oogpunt interessant, maar ook voor onderzoek naar verschillen tussen stad en platteland en sociale implicaties van urbanisatie. Met DNA kunnen *verwantschappen* worden vastgesteld. Zo is kort geleden het skelet uit het 19e eeuwse scheepswrak De Lutina geïdentificeerd met behulp van DNA van een mogelijke achterkleinzoon (fig. 2). Het bleek het skelet van schipper Jan Kisjes te zijn. Ook afwijkende begravingen, dubbelgraven en geïsoleerd liggende graven kunnen mogelijk begrepen worden met behulp van DNA. Wat betreft *demografie* is veel te verwachten van DNA-onderzoek; het stelt ons in staat bevolkingsgeschiedenissen in genetische zin te beschrijven (bijv. Weale et al. 2002 voor genetische aanwijzingen voor de Angelsaksische migratie). Hiervoor zijn wel zeer veel data nodig.

Via oud DNA is het mogelijk de *afstamming en de herkomst* van individuen en populaties te bepalen. Ook kan de etniciteit van een individu of de homogeniteit of juist heterogeniteit van een populatie vastgesteld worden. Is verandering van materiële cultuur een verandering van bijvoorbeeld vormtypen of de mensen zelf? Afwijkende begravingen en rituelen zouden eveneens geduid kunnen worden, zijn de mensen waar na overlijden anders of afwijkend mee is omgegaan ook genetisch buitenstaanders, immigranten?

Met de studie van oud DNA kan een onmisbare bijdrage worden geleverd aan het onderzoek van de complexe *migratiepatronen* in het verleden. Met de Neolithiseringsgolf uit Oost-Europa en het Midden Oosten komen nieuwkomers (landbouwers) naar Noordwest Europa. De meeste resultaten tot nu toe

tonen aan dat de migratie van deze vroegste boeren (en de landbouw) niet leidde tot een grote genetische uitwisseling met de autochtone jagersverzamelaars bevolking, maar dat de beide groepen grotendeels apart verder leefden (o.a. Haak et al. 2005). Is dit in Nederland ook het geval geweest?

Degradatie, omgevingsfactoren en materiaalcondities

Bovengenoemde voorbeelden tonen aan dat het (archeologische) onderzoek van oud DNA een grote onderzoekspotentie heeft. DNA-moleculen degraderen echter in de loop der tijd, want in principe geldt: hoe langer geleden hoe groter de degradatie. Het is daarom relevant te bezien of de beantwoording van dergelijke vragen via oud DNA eigenlijk wel zo eenvoudig is.

Van doorslaggevend belang voor de conservering

van de kwaliteit en de kwantiteit van het oude DNA in een monster zijn de overheersende omgevingsfactoren en de bewaarcondities (fig. 3).

DNA-onderzoek van oud (menselijk) materiaal wijkt af van de analyse van modern genetisch materiaal, omdat het effect van omgevingsfactoren als tijd, temperatuur en vochtigheid op de conservering van het DNA zeer groot is (Burger et al. 1999, Willerslev & Cooper 2005). In de bodem kunnen makkelijk bacteriën en schimmels het botmateriaal binnendringen en het DNA-signaal beïnvloeden (Huisman et al. 2006).

Degradatie

Als een organisme sterft, begint het DNA langzaam af te breken. Drie typen van afbraak en beschadiging zijn te onderscheiden: organische afbraak door enzymen en/of bacteriën, hydrolyse en oxidatie. Na de dood van een organisme worden zijn weefsels direct aangetast door afbraakprocessen door micro-organismen (bacteriën, schimmels en ééncellige planten) en door dieren (insecten), wat direct gevolgen heeft voor de conservering van het DNA.

Na deze eerste afbraak doen chemische degradatieprocessen, in het bijzonder hydrolyse en oxidatie, hun vernietigende werk. 99% van het DNA wordt afgebroken door micro-organismen, hydrolyse en oxidatie zorgen voor de laatste 1%. Als de omstandigheden voor micro-organismen minder gunstig zijn, is er ook minder degradatie.

Afhankelijk van de degradatie en daarmee de kwaliteit van het (fossiele) materiaal kan inmiddels DNA geïsoleerd worden uit materiaal tot 300.000 jaar oud en soms nog wel ouder. Het DNA blijft het allerbeste geconserveerd onder droge, zuurstofarme en extreem koude omstandigheden, zoals die eigenlijk alleen voorkomen in ijs, permafrost en op grote hoogte. Permafrost zoals dit wordt aangetroffen in Siberië, Groenland of hoog in de Alpen vormen de beste bewaaromstandigheid voor DNA, maar dit treffen we in Nederland niet aan.

De kwaliteit van het DNA is ook gekoppeld aan andere omgevingsfactoren, zoals het bodemmilieu. DNA in botten, tanden en kiezen blijft bijvoorbeeld het best geconserveerd onder neutrale of licht basische omstandigheden. Dit is in ons land het geval in een fosfaatrijke bodem met een zuurgraad (pH) hoger dan 6,2. De aanwezigheid van veel organisch materiaal en fosfaat in de bodem, zoals in terpen en wierden, is gunstig,



4

EEN ORGANISCH RIJKE BODEM (MET FOSFATEN), ZOALS WORDT AANGETROFFEN IN TERPEN EN WIERDEN.

5

EEN ORGANISCH RIJKE BODEM, ZOALS DE WADDENZEE EN WESTERSCHELDE.



evenals de aanwezigheid van metalen en zouten in de bodem (fig. 4 en 5). Een pH lager dan 6 en een fluctuerende grondwaterstand verslechtert de kwaliteit van het bot snel.

Skeletmateriaal blijft het beste bewaard in kalkrijke, slecht doorlatende bodems, met weinig zuurstof (fig. 6 en 7). Dat geldt ook voor het DNA in de botten. Een indicatie dat nog DNA in het bot bewaard is gebleven is de aanwezigheid van andere biomoleculaire elementen, zoals botcollageen en aminozuren. Zeer ongunstig voor behoud van het DNA

zijn water, zuurstof, warmte en een sterk verzuurde bodem. In Nederland komen bodems voor met pH-waarden tussen 3,5 en 8,2. Zure bodems (pH lager dan 6,2) vinden we vooral in hoogveen en arme, kalkloze zandgronden. Extreem zure omstandigheden komen voor in kustvenen en zeeklei waar na ontwatering en ontginning pyriet is gaan reageren met zuurstof (de zogeheten kateklei). In principe is contact met water uit den boze, maar voor een goede conservering is het belangrijkste dat de omgeving blijvend stabiel is. Het DNA blijft goed bewaard ruim

boven of ruim onder het (grond)water, een fluctuerende grondwaterspiegel is funest. Ook warmte en vooral sterke schommelingen in temperatuur zijn slecht voor de conservering van DNA.

Veel van genoemde omgevingsfactoren gaan natuurlijk samen, zo hebben micro-organismen een zuurstofrijke omgeving nodig en zijn kalkrijke gronden per definitie basisch.

De belangrijkste voorspellende factoren voor kansrijk archeologisch DNA-onderzoek zijn een overheersend basisch bodemmilieu, een hoge grondwaterstand en een lage temperatuur. De Nederlandse omgevingsfactoren voor succesvol oud DNA-onderzoek zijn niet bijzonder gunstig. Vooral een fluctuerende (grond)waterspiegel en de aanwezigheid van zuurstof zorgen voor een zeer snelle afbraak van het DNA, en verregaande degradatie van het oude DNA leidt tot een groter risico op vervuiling.

Contaminatie

Naast degradatie van oud DNA vormt contaminatie met modern DNA tijdens monsternamen in het veld, depot of museum of tijdens de analyse een probleem (Gilbert et al. 2006). Meestal is maar een fractie van het oude DNA in het bot bewaard gebleven en het monster kan tijdens het verzamelen of in het laboratorium zodanig vervuild raken dat er van het oorspronkelijke DNA-signaal niks meer over is. De aanwezigheid van gefragmenteerd DNA (fragmenten ter grootte van minder dan 100 basenparen) is een indicatie voor ouderdom en dus van authentiek DNA. Ter vergelijking: in modern materiaal worden vele duizenden basenparen gevonden.

Modern DNA is alomtegenwoordig, het zit aan handen, in uitgeademde lucht, in lichaamscellen (denk aan huidschilfers) en in op het lichaam gedragen bacteriën. Oud DNA onderzoek van menselijk materiaal kan daarom gemakkelijk onbetrouwbaar zijn doordat het monster vervuild is geraakt met modern DNA. Het is bovendien lastig onomstotelijk vast te stellen of een DNA-resultaat daadwerkelijk een authentiek resultaat is (Cooper & Poinar 2000, Poinar 2003).

Inmiddels hebben de meeste grote moderne laboratoria adequate procedures ontwikkeld om ongewenste DNA-vervuiling met modern DNA tot een minimum te reduceren. Zo heeft het Ancient Biomolecules Centre (ABC) in Oxford in 2005 een geheel nieuw, vrijstaand en hypermodern laboratorium laten bouwen.

6

EEN BODEM MET EEN HOGE ZUURGRAAD (NEUTRAAL OF LICHT BASISCH), ZOALS DROGE, KALKHOUDENDE (ZAND)GRONDEN IN ZUID LIMBURG, NOORD BRABANT, DRENTHE EN DE DUINEN IN NOORD HOLLAND.



7

EEN BODEM MET HOGE ZUURGRAAD (NEUTRAAL OF LICHT BASISCH), ZOALS EEN BEEKDAL MET DIEPE KWEL.



Opslag- en conservering van museale collecties

'Vers' opgegraven, ongewassen en onbehandelde botten bevatten veel meer authentiek DNA dan opgeslagen skeletten in museumcollecties. Bewaar- en omgevingscondities hebben meer invloed op de conservering van het DNA dan tijd (Burger et al. 1999). Een Franse onderzoeksgroep onderzocht onlangs de botten van een ongeveer 3200 jaar oude oeros die op twee verschillende momenten in Pontvallain was opgegraven (Pruvost et al. 2007). De ene helft van het dier werd in 1947 opgegraven, gewassen en in een museum opgeslagen. Uit deze botten kon geen authentiek DNA meer gehaald worden. De andere helft van deze oeros werd 57 jaar later, in 2004, opgegraven en bewaard bij -20 graden Celsius. Deze skeletresten bleken nog wel authentieke DNA-strengen te bevatten, met

een lengte van maximaal 200 basenparen. In die halve eeuw dat het botmateriaal in een museaal depot heeft gelegen is evenveel DNA verloren gegaan als gedurende de 3200 jaar dat het dier in de bodem lag!

Materiaal dat tentoongesteld of opgeslagen is (geweest) zal vaak weinig DNA meer bevatten, omdat het materiaal veel te warm onder lampen heeft gelegen en niet gekoeld in het depot is opgeslagen. Ook zijn museale fossielen en veel ander botmateriaal de afgelopen decennia door de conservatoren behandeld met formaline of een gelatine bevattende lijm of verharder, waardoor het DNA niet meer toegankelijk is voor analyse. Een groot probleem is dat dergelijke conserverende behandelingen zelden zijn vastgelegd of beschreven.

Archeologisch DNA-onderzoek in Nederland

In het recente verleden is DNA-analyse toegepast op een aantal onderzoeken in Nederland. Van een aantal van de Drentse veenlijken is niet bekend of het om een man of een vrouw gaat. Om daarop een antwoord te krijgen is eind jaren '80 een poging gedaan DNA te isoleren uit de huid en organen van zeven van deze veenlijken. Het onderzoek heeft geen enkel resultaat opgeleverd vanwege de zeer slechte conserveringsomstandigheden voor DNA: het zure, waterige, veenmilieu heeft een pH-waarde tussen 3,2 en 3,8 (Van der Sanden 1990, 125-127).

Eind jaren '90 is DNA-analyse gedaan aan zeven skeletten, zes kinderen en een jong volwassene, die werden aangetroffen in de terp bij Wijnaldum (Colson et al. 1997). De skeletten dateren uit de 2e tot 9e eeuw. Een vergelijking van het mitochondriaal DNA van deze zeven individuen met het DNA van 'moderne Friezen' leidde tot de opmerkelijke conclusie dat de vroeg middeleeuwse terpbewoners van Wijnaldum meer genetische overeenkomsten hebben met de huidige Waddeneilandbewoners dan met de Friezen van het vasteland. Het DNA van de huidige vasteland-Friezen vertoont juist zeer veel overeenkomsten met de huidige bewoners van het kustgebied van Noordwest-Duitsland.

Op dit moment wordt DNA-onderzoek vooral uitgevoerd door gemeentes, denk aan de skeletten van de Catharinakerk in Eindhoven (waaronder 'Marcus van Eindhoven') en de zoektocht naar de 'oudste Vlaarding'. De resultaten spelen een belangrijke rol in het kader van gemeentelijke publieksvoorlichting en het publieke belang bij archeologie.

Onlangs dergelijke initiatieven loopt de Nederlandse archeologie internationaal gezien behoorlijk achter, zowel in het archeologische DNA onderzoek als in de onderzoeksfaciliteiten, zoals een speciaal oud DNA laboratorium. Het Forensisch Laboratorium voor DNA Onderzoek (FLDO) van het Leids Universitair Medisch Centrum en het Nederlands Forensisch Instituut (NFI) richten zich voornamelijk op forensisch (contra-expertise) onderzoek en beide laboratoria zijn niet specifiek uitgerust voor het uitvoeren van (commercieel) oud DNA-onderzoek. Om contaminatie zo goed mogelijk uit te sluiten is in ieder geval een fysiek losstaand gebouw ideaal. Dat hebben we in Nederland niet. In het buitenland zijn al wel speciale

laboratoria opgericht waar het menselijk oud DNA onderzoek uit de verschillende disciplines is samengebracht, zoals het Ancient Biomolecules Centre (ABC, University of Oxford) en de Arbeitsgruppe Paleogenetik (Johannes Gutenberg Universität) in Mainz. Deze laboratoria kunnen zeer kleinschalig analyses voor externen uitvoeren, in principe werken zij (nog) niet voor een markt. DNA-analyse van een los monster kost ongeveer 1000 Euro.

De omstandigheden voor het uitvoeren van – grootschalig of commercieel – archeologisch DNA onderzoek zijn op dit moment in Nederland niet gunstig. Het kan daarom zinvol zijn om nu al wel een begin te maken met het verzamelen, veiligstellen en opslaan van archeologisch materiaal voor toekomstig onderzoek of onderzoek op synthetiserend niveau. Daarvoor zal een veilige opslagmogelijkheid en een toegankelijke databank opgezet moeten worden. DNA-materiaal voor toekomstig onderzoek, zoals een kies of stukje compact bot, wordt dan het best verpakt in een steriel buisje en in een vrieskist bewaard. Gemeenten en provincies kunnen in de bestaande depots de voorwaarden voor een duurzame opslag creëren, universiteiten kunnen hun eigen monsters voor toekomstig onderzoek beheren en de RACM kan dit doen met monsters van nationaal belang of van convenantpartners.

Het is natuurlijk noodzakelijk dat al deze opgeslagen monsters voor (toekomstig) onderzoek op een of andere wijze wel digitaal openbaar en toegankelijk zijn. Een mogelijkheid daarvoor is het opzetten van een 'centrale oud DNA-databank' waarin enerzijds de archeologische gegevens met betrekking tot de opgeslagen DNA-monsters zit en anderzijds de al verkregen resultaten van archeologische DNA-analyses zitten. Om meer inzicht te krijgen op de voor de Nederlandse situatie gunstige en ongunstige bodemcondities moeten natuurlijk ook de negatieve resultaten in de databank worden opgenomen. In dat kader is het ook interessant te weten of dit botmateriaal of gebitsresten betreft. Op deze wijze kunnen alle resultaten van analyses toegankelijk zijn en beschikbaar komen voor (toekomstig) verdiepend onderzoek op synthetiserend niveau. Fantastische mogelijkheden liggen in het verschiet. Toepassing van oud DNA-onderzoek maakt het immers mogelijk aspecten van samenlevingen te bestuderen die tot voor kort nog ver buiten het bereik van archeologisch onderzoek lagen. □

Literatuur

- Burger, J., S. Hummel, B. Herrmann & W. Henke 1999: *DNA preservation: A micro-satellite-DNA study on ancient skeletal remains*, *Electrophoresis* 20, 1722-1728.
- Colson, I.B., M.B. Richards, J.F. Bailey, B.C. Sykes & R.E.M. Hedges 1997: *DNA analyses of seven human skeletons excavated from the terp of Wijnaldum*, *Journal of Archaeological Science* 24, 911-917.
- Cooper, A., & H.N. Poinar 2000: *Ancient DNA: Do it right or not at all*, *Science* 289, 1139.
- Gilbert, M.T.P., A.J. Hansen, E. Willerslev, G. Turner-Walker & M. Collins 2006: *Insights into the Processes behind the Contamination of Degraded Human teeth and Bone Samples with Exogenous Sources of DNA*, *International Journal of Osteoarchaeology* 16, 156-164.
- Haak, W., P. Forster, B. Bramanti, S. Matsumura, G. Brandt, M. Tänzer, R. Villems, C. Renfrew, D. Gronenborn, K.W. Alt & J. Burger 2005: *Ancient DNA from the First European farmers in 7500-Year-Old Neolithic Sites*, *Science* 310, 1016-1018.
- Hofreiter, M., D. Serre, H.N. Poinar, M. Kuch & S. Pääbo 2001: *Ancient DNA*, *National Review on Genetics* 2, 353-359.
- Huisman, D.J., R.C.G.M. Lauwerier, M.M.E. Jans, A.G.F.M. Cuijpers & F.J. Laarman 2006: *Degradatie en bescherming van archeologisch bot*, *Praktijkboek Instandhouding Monumenten Deel II - 11 Overige onderwerpen*, 14.
- Pääbo, S., H. Poinar, D. Serre, V. Jaenicke-Després, J. Hebler, N. Rohland, M. Kuch, J. Krause, L. Vigilant & M. Hofreiter 2004: *Genetic Analyses from Ancient DNA*, *Annual Review of Genetics* 38, 645-679.
- Poinar, H.N., 2003: *The top 10 list: criteria of authenticity for DNA from ancient and forensic samples*, *International Congress Series* 1239, 575-579.
- Pruvost, M., R. Schwarz, V. Bessa Correia, S. Champlot, S. Braguier, N. Morel, Y. Fernandez-Jalvo, T. Grange & E.-M. Geigl 2007: *Freshly excavated fossil bones are best for amplification of ancient DNA*, *Proceedings of the National Academy of Sciences* 104, 739-744.
- Sanden, W.A.B. van der (red.), 1990: *Mens en moeras. Veenlijken in Nederland van de bronstijd tot en met de Romeinse tijd*, Assen.
- Weale, M.E., D.A. Weiss, R.F. Jager, N. Bradman & M.G. Thomas 2002: *Y chromosome evidence for Anglo-Saxon mass migration*, *Molecular Biology and Evolution* 19, 1008-1021.
- Willerslev, E. & A. Cooper 2005: *Ancient DNA*, *Proceedings of the Royal Society of London B*. 272, 3-16.