

Bärbel Hüsing

Stand und Perspektiven von DNA-Analytik und Gendiagnostik



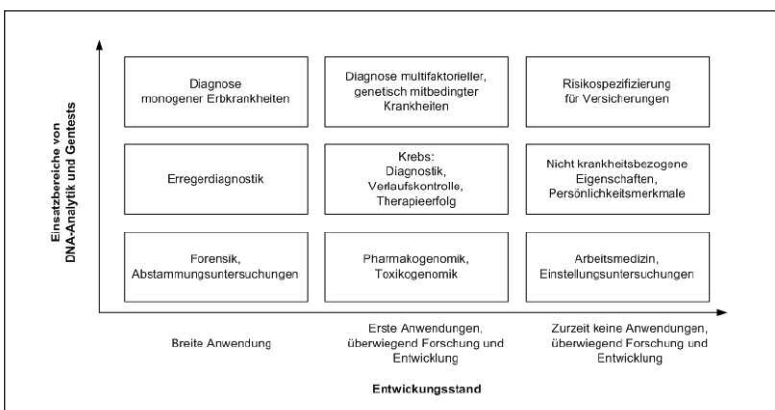
Die Untersuchung des menschlichen Erbguts spielt nicht nur bei der Diagnose von Erbkrankheiten eine wichtige Rolle. Vielmehr werden es Fortschritte in der Gendiagnostik bereits in wenigen Jahren möglich machen, auch Erkrankungsrisiken für genetisch mitbedingte Krankheiten vorherzusagen. Zudem finden DNA-analytische Verfahren bereits heute breiten Einsatz bei Vaterschaftstest und anderen Abstammungsanalysen sowie bei kriminaltechnischen Ermittlungen. Der folgende Beitrag gibt eine Übersicht über aktuelle und mögliche künftige Anwendungen von DNA-Analytik und Gendiagnostik beim Menschen und diskutiert die Rahmenbedingungen, unter denen diese Verfahren angewendet werden bzw. werden sollten.

1 Das Humangenomprojekt

Von 1990 bis 2003 wurde das Humangenomprojekt in internationaler Kooperation durchgeführt, ein Großprojekt, das zum Ziel hatte, durch DNA-Sequenzierung die genaue Abfolge der ca. 3 Milliarden Basenpaare des menschlichen Erbguts zu bestimmen, dadurch alle Gene zu identifizieren und die daraus resultierenden Materialien und Ergebnisse z. B. in Ressourcenzentren und Datenbanken für weitergehende Forschungsarbeiten bereitzustellen [1; 2]. Das Humangenomprojekt hat wesentlich zu dem enormen Wissenszuwachs über krankheitsbezogene Gene beigetragen: 1992 waren nur 5.000 menschliche Gene beschrieben, 2006 aber bereits 15.000 Gene. Zudem wurden auch neue Methoden zur DNA-Sequenzierung und zur Ermittlung von Genfunktionen entwickelt und dabei insbesondere die Kosten und der Zeitbedarf für die Untersuchung des menschlichen Erbguts durch Miniaturisierung, Automatisierung und Beschleunigung deutlich gesenkt. Dadurch wächst die Zahl der zur Verfügung stehenden Gentests: 1993 konnten gerade 64 Merkmale getestet werden, 1999 bereits 300 Merkmale, und 2007 sind Gentests für mehr als 1.000 Krankheiten verfügbar [3]. Somit eröffnen die Erkenntnisse und Methoden aus dem Humangenomprojekt für die Zukunft die Möglichkeit, dass DNA-Analysen und genetische Tests in vielen medizinischen Anwendungsfeldern routinemäßig genutzt werden können [2].

2 Übersicht über Einsatzbereiche DNA-analytischer und gendiagnostischer Tests beim Menschen

Die Einsatzmöglichkeiten DNA-analytischer und gendiagnostischer Tests beim Menschen sind vielfältig und zurzeit unterschiedlich weit aus der Forschung in die praktische Anwendung vorgedrungen (Abbildung 1): DNA-analytische und gendiagnostische Verfahren finden bereits heute breite Anwendung bei der Untersuchung von Proben auf die Anwesenheit von Infektionserregern. In Deutschland werden jährlich ca. 3,5 Millionen Blutspenden DNA-analytisch auf die Abwesenheit von AIDS- und Hepatitisserregern getestet. In ähnlicher Weise werden auch menschliche Spenderorgane vor der Transplantation untersucht, und auch zur Überprüfung des Hygienezustands von medizinischem Gerät und zur Qualitätskontrolle von Pharmazeutika können DNA-analytische Verfahren eingesetzt werden. Vielfältige Einsatzmöglichkeiten für DNA-Analysen gibt es auch bei der Differenzialdiagnose von Infektionen oder bei der Ermittlung eventuell vorliegender Antibiotikaresistenzen [4]. Zudem sind DNA-analytische und gendiagnostische Verfahren bei der Diagnose von Erbkrankheiten in der Praxis etabliert, und sie werden routinemäßig bei kriminaltechnischen Untersuchungen (Forensik) und bei der Bestimmung von Verwandtschaftsverhältnissen (z. B. Vaterschaftstests, Stammbaumanalysen) eingesetzt. Auf diese beiden letztgenannten Anwendungsbereiche wird in den folgenden Abschnitten vertiefend eingegangen.



Aktuelle und mögliche künftige Einsatzbereiche von DNA-Analysen und Gentests

3 Testprinzipien für Untersuchungen auf DNA-Ebene

Bei Untersuchungen auf DNA-Ebene können zwei grundlegend verschiedene Testprinzipien unterschieden werden, die sich wesentlich in ihren Anwendungsbereichen und der Aussagekraft ihrer Ergebnisse unterscheiden: Testprinzip 1 sucht gezielt nach spezies- bzw. individuenspezifischen Unterschieden im Aufbau der DNA, um zu klären, ob die vorliegende DNA aus einer oder verschiedenen Arten bzw. Individuen stammt bzw. wie hoch der Ähnlichkeitsgrad ist. Dabei ist es in der Regel nicht von Belang oder auch nicht bekannt, welche Informationen und biologischen Funktionen von den untersuchten DNA-Abschnitten codiert werden. Testprinzip 1 ist besonders geeignet, um die Anwesenheit des Erbguts eines bestimmten Individuums oder einer bestimmten Art in einer DNA-haltigen Probe nachzuweisen.

Dem gegenüber wird bei Testprinzip 2 gezielt nach Gen- oder Genexpressionsveränderungen gesucht, die mit bestimmten biologischen Funktionen und phänotypischen Eigenschaften korreliert sind. Hierdurch möchte man Aussagen darüber treffen, inwieweit die biologische Funktion ausgeübt werden kann bzw. beeinträchtigt ist. Testprinzip 2 wird insbesondere dazu eingesetzt, um genetisch (mit)bedingte Krankheiten zu diagnostizieren bzw. genetische Risikofaktoren für eine erhöhte Erkrankungswahrscheinlichkeit zu ermitteln. Voraussetzung ist eine möglichst genaue Kenntnis darüber, wie die betreffenden Gene mit der zu untersuchenden Eigenschaft bzw. Krankheit korreliert sind.

4 Anwendungsbeispiel: „Genetischer Fingerabdruck“ in kriminaltechnischen Untersuchungen

Ein Anwendungsbeispiel für Testprinzip 1, das breit eingesetzt wird, ist der „genetische Fingerabdruck“ (engl. DNA-Fingerprinting). Diese Bezeichnung verdeutlicht, dass man für jeden Menschen ein DNA-Profil erstellen kann, das für diese Person ähnlich charakteristisch und unverwechselbar ist wie ein Fingerabdruck. Für den Menschen ergeben sich insbesondere Anwendungen in der Forensik und bei Abstammungsanalysen (z. B. Vaterschaftstests). Zudem kann das DNA-Profil als biometrisches Merkmal auf Personalausweisen dienen. Genetische Fingerabdrücke können modellhaft auch im Unterricht als Schülerexperiment erstellt und analysiert werden. Diese Möglichkeit wird in zahlreichen Schülerlaboren angeboten [5].

Diesem DNA-analytischen Verfahren liegt zugrunde, dass die Reihenfolge von 99,9 % aller Basenpaare des menschlichen Genoms bei allen Menschen exakt übereinstimmt, sich die DNA-Sequenzen einzelner Individuen aber in 0,1 % der Basenpaare voneinander unterscheiden. Beim genetischen Fingerabdruck werden die sog. VNTR-Loci (variable number of tandem repeats) untersucht, die in den nicht-codierenden Bereichen der menschlichen DNA auftreten und sich durch die mehrfache Wiederholung einer bestimmten kurzen Basensequenz (z. B. ACTG) auszeichnen. Dabei können sich Individuen in der Anzahl der Sequenz-Wiederholungen an einem bestimmten VNTR-Locus unterscheiden. Bei der Erstellung eines genetischen Fingerabdrucks wird ermittelt, wie häufig sich die für den jeweiligen Locus charakteristische DNA-Sequenz wiederholt. Führt man diese Analyse für acht bis zwölf verschiedene, über die gesamte DNA verteilte VNTR-Loci durch, erhält man ein DNA-Profil, das mit einer Wahrscheinlichkeit von kleiner 109 so bei keinem anderen Menschen auf der Welt vorkommt.

Es gibt zahlreiche verschiedene methodische Varianten zur Erstellung eines „genetischen Fingerabdrucks“. Häufig werden die in der zu untersuchenden DNA-Probe enthaltenen VNTR-Loci spezifisch mit Hilfe geeigneter DNA-Primer und der Polymerase-Kettenreaktion vervielfältigt, die resultierenden Fragmente mit Hilfe einer Gelelektrophorese nach der Fragmentlänge aufgetrennt und durch geeignete Verfahren sichtbar gemacht. Somit handelt es sich nicht um eine Sequenzierung, sondern um eine Fragmentlängenanalyse. Es ergibt sich ein Bandenmuster, das für ein Individuum charakteristisch ist. Die Auswertung dieses Bandenmusters führt zu einem Zahlencode. Durch Vergleiche mit den Zahlencodes von ebenso behandelten Standards oder Referenzproben kann ermittelt werden, ob die Probe mit der Referenz übereinstimmt. Da die DNA-Analyse an nicht-codierenden Bereichen des Genoms durchgeführt wird, lässt sie keine Rückschlüsse auf persönlichkeits- oder krankheitsrelevante Merkmale zu [6].

1985 für den Menschen entwickelt [7], wird die Technik des „Genetischen Fingerabdrucks“ in Deutschland seit 1988 sowie zurzeit in 77 weiteren Ländern in der Kriminaltechnik eingesetzt. Hier dient sie vor allem der Identifizierung von Verbrechenopfern sowie der Unterstützung kriminaltechnischer Ermittlungen, indem Spuren Tatverdächtigen zugeordnet, Tatverdächtige als Spurenleger ausgeschlossen sowie Spuren von verschiedenen Tatorten miteinander in Verbindung gebracht werden. Ergebnisse dieser kriminaltechnischen DNA-Analytik sind als Sachbeweis vor Gericht anerkannt. Zudem kann der zu einem DNA-Profil gehörige Zahlencode in

Datenbanken gespeichert werden, so dass auch ein Abgleich von Spuren-DNA-Profilen mit in der Datenbank gespeicherten DNA-Profilen möglich ist. In Deutschland wird eine solche DNA-Datenbank seit 1998 beim Bundeskriminalamt geführt; insgesamt gibt es zurzeit in 41 Ländern derartige Datenbanken, die zunehmend miteinander vernetzt werden sollen, um auch grenzüberschreitende Abgleiche von DNA-Profilen vornehmen zu können [8].

In der Regel reichen 100 pg menschlicher DNA mit intakten analyserelevanten VNTR-Loci für eine Analyse aus. Diese DNA-Menge ist in 20-30 menschlichen Zellen enthalten. Analysiert werden meist Blutspuren, Haarwurzeln, Körpersekrete wie Sperma oder Speichel und Gewebeproben. Die Kosten einer Standardanalyse belaufen sich auf ca. 100-200 Euro. Dem „Genetischen Fingerabdruck“ sind jedoch auch Grenzen gesetzt. So unterscheiden sich beispielsweise die DNA-Profile eineiiger Zwillinge nicht, während dies bei ihren klassischen Fingerabdrücken der Fall ist. Besonders kritisch ist die Frage, inwieweit ausgeschlossen werden kann, dass das DNA-Profil von Tatortspuren rein zufällig mit dem DNA-Profil eines Tatverdächtigen übereinstimmt. Neben der Möglichkeit von Mischspuren und Kontaminationen wird dies wesentlich durch die Anzahl der in die Analyse einbezogenen VNTR-Loci bestimmt. In Deutschland werden derzeit routinemäßig 8 verschiedene Loci untersucht, international bis zu 12.

Da ein genetischer Fingerabdruck bereits mit wenigen menschlichen Zellen möglich ist, besteht technisch die Möglichkeit, ein DNA-Profil ohne Wissen und Zustimmung der betroffenen Person zu erstellen. Ist ein DNA-Profil in entsprechenden Datenbanken gespeichert, können automatische Abgleiche von Spuren-Profilen mit gespeicherten DNA-Profilen ohne eine nochmalige Zellmaterialentnahme und DNA-Analyse durchgeführt werden. Hierbei stellt sich die Frage, inwieweit ein solches Vorgehen wünschenswert ist und ermöglicht werden soll. Der Rahmen des rechtlich Zulässigen wird dabei durch das in der Verfassung garantierte individuelle Grundrecht auf informationelle Selbstbestimmung (Art. 2. Abs. 1 GG) abgesteckt, das gegen das Interesse der Allgemeinheit nach kriminaltechnischer Ermittlung und Strafverfolgung abzuwägen ist. In Deutschland wird dieser Rechtsrahmen seit 1998 durch das DNA-Identitätsfeststellungsgesetz konkretisiert. Es legt fest, dass DNA-Profile nur nach richterlicher Anordnung erstellt werden dürfen, in der Regel ein konkreter Verdacht vorliegen und es sich um Straftaten von erheblicher Bedeutung handeln muss. Zudem regelt es die Bedingungen der DNA-Datenspeicherung, -löschung und -analyse. Seit dem ersten Inkrafttreten ist das Gesetz mehrfach

dahingehend geändert worden, dass die Nutzungsmöglichkeiten der kriminaltechnischen DNA-Analyse erweitert wurden. Äußerer Anlass für die Gesetzesänderungen waren meist spektakuläre, öffentlichkeitswirksame Mordfälle und Sexualdelikte [9].

5 Anwendungsbeispiel: Diagnostik von erblich (mit)bedingten Krankheiten

Klassische Anwendungsbereiche des Testprinzips 2 sind genetische Tests für die Diagnostik erblich (mit)bedingter Krankheiten. Hierbei werden gezielt krankheitsrelevante Genen bzw. Mutationen darin aufgespürt. Hervorzuheben ist, dass beim heutigen Stand der Technik ein Gentest nur die gezielte Suche nach Mutationen in einem oder wenigen, vorher spezifizierten Genen umfasst. Eine breit angelegte Suche im Sinne eines Screening nach möglicherweise im Erbgut vorliegenden Mutationen ist zurzeit nicht möglich, doch befinden sich DNA-Chips und Sequenzierungstechniken im Forschungs- und Entwicklungsstadium, die dies mittelfristig ermöglichen könnten [10; 11]. Während biochemische und klinische Untersuchungen in der Regel erst diagnostisch einsetzbar sind, wenn die Erkrankung bereits aufgetreten ist, erweitern genetische Tests die Möglichkeiten und Einsatzbereiche der medizinischen Diagnostik erheblich. Insbesondere bergen sie das Potenzial für

- eine Diagnose bzw. Prognose bereits vor Auftreten von Krankheitssymptomen (prädiktive Gendiagnostik) [12],
- Diagnosen bereits am Ungeborenen während der Schwangerschaft im Mutterleib (pränatale Diagnostik),
- Diagnosen bei in-vitro-Fertilisation bereits am Embryo im Mehrzellstadium vor Einsetzen in den Mutterleib (Präimplantationsdiagnostik) [13],
- die Ermittlung von Anlageträgerschaft (d. h. Heterozygoten-Status, ohne dass es beim Anlageträger jemals zu einer Erkrankung kommen würde).

Wegen der Vererbung der betroffenen Gene lassen Gentests stets auch Rückschlüsse auf den genetischen Status von Verwandten zu und haben deshalb auch Auswirkungen auf diese Personen, auch wenn sie bei sich selbst keinen Gentest haben durchführen lassen. Diese Spezifika verleihen genetischen Tests eine besondere, auch ethisch relevante Qualität, die sie von anderen etablierten Diagnoseverfahren unterscheidet.

Zurzeit werden gendiagnostische Verfahren überwiegend für relativ seltene, monogen bedingte Erbkrankheiten eingesetzt z. B. Mukoviszidose, Hämophilie A, Muskeldystrophie Duchenne, bei denen Gendefekte notwendiger und hinreichender Faktor für den Ausbruch der Krankheit sind. Künftig werden zunehmend Testverfahren für so genannte multifaktorielle Krankheiten verfügbar werden, die durch das komplexe und bislang nur wenig verstandene Zusammenspiel von genetischer Disposition, Lebensführung (z. B. Rauchen, Ernährung, Bewegung, Stress), Umwelteinflüssen (z. B. Exposition gegenüber Giftstoffen, Strahlung, Krankheitserregern) und psychischen Faktoren entstehen. Hierzu zählen die häufigen "Volkskrankheiten" wie Herz-Kreislauf-, Krebs-, Stoffwechsel- und neurodegenerative Erkrankungen. Bei diesen Krankheiten können genetische Veränderungen eine dominierende Rolle für das Auftreten und den Verlauf der Krankheit spielen, müssen es aber nicht. Heutzutage sind die Testmöglichkeiten bei multifaktoriellen Krankheiten noch auf einige wenige Krankheiten beschränkt, so z. B. auf den Nachweis bestimmter Mutationen in Genen, die mit der Entstehung von bestimmten Formen des Brustkrebs korreliert sind, und die Untersuchung von so genannten APO-Varianten, die mit einem familiär gehäuften Erkrankungsrisiko für die Alzheimer'sche Krankheit in Verbindung gebracht werden.

Zeigt ein Gentest das Vorliegen einer genetischen Veränderung an, so muss dieses Testergebnis in Bezug auf den Krankheitswert der festgestellten Veränderung interpretiert werden. Hierfür muss die ursächliche Korrelation zwischen dem Auftreten eines Gendefekts und dem Eintreten einer bestimmten Erkrankung bekannt sein – doch ist dieses Wissen nicht in allen Fällen, in denen auf das Vorliegen bestimmter Gendefekte getestet werden kann, bereits in ausreichendem Maße vorhanden. Hier besteht die Herausforderung zu verhindern, dass solche medizinisch nicht sinnvollen Gentests Patientinnen und Patientinnen zu frühzeitig angeboten werden. Vielmehr ist zu gewährleisten, dass ein Gentest erst dann aus der Forschung in die medizinische Praxis übertragen wird, wenn die Aussagekraft des Tests sorgfältig überprüft und validiert worden ist.

Bedingt durch das komplexe Wechselspiel von Genen, Umwelt, Lebensführung und psychischen Faktoren hat das Feststellen einer genetischen Veränderung außerdem nur eine begrenzte Aussagekraft für die Frage, ob eine mit dieser genetischen Veränderung korrelierte multifaktorielle Krankheit bei der betreffenden Person tatsächlich auftreten wird. In der Regel kann hierdurch nur auf ein erhöhtes Risiko für eine Erkrankung geschlossen werden, jedoch keine sichere Prognose abgegeben wer-

den, ob, wann und in welcher Schwere die Krankheit auftreten wird [12]. Daher ist eine solche Information zumindest immer dann sehr problematisch, wenn die Krankheit schwerwiegend ist und es keine oder nur unzureichende Behandlungsmöglichkeiten gibt. Zurzeit klafft die Lücke zwischen Diagnostizierbarkeit und Therapierbarkeit von genetisch (mit)bedingten Krankheiten weit auseinander. Zu betonen ist auch, dass das Nichtfeststellen von Gendefekten durch einen Gentest keine Garantie für Gesundheit bedeutet.

Mit Hilfe von Gentests wird versucht, individuelle Fragestellungen in Bezug auf eine genetisch (mit)bedingte Krankheit gezielt zu beantworten. Je nach Fragestellung kann derselbe Test jedoch für die betroffenen Personen ganz unterschiedliche Bedeutung haben. So kann beispielsweise mit Hilfe eines Gentests die – auch anhand von Untersuchungen des Phänotyps stellbare – Diagnose auf das fragile X-Syndrom bei einem betroffenen Jungen gesichert werden. Das fragile X-Syndrom ist eine X-chromosomal erbliche Erkrankung mit einer Häufigkeit von ca. 1:4.000, bei der es durch einen bestimmten Mutationstyp, nämlich vermehrt wiederholte CGG-Repeats im FMR1-Gen (über 200 CGG-Repeats, normal sind ca. 50 CGG-Repeats) zu einer Beeinträchtigung der mentalen Entwicklung, zu Verhaltensauffälligkeiten (Hyperaktivität, autistische Züge) sowie Veränderungen des Bindegewebes, der Gelenke und der Physiognomie (langes Gesicht, Stirn und Kinn prominent) kommen kann. Da die Mutation auf dem X-Chromosom liegt, sind Jungen von den Symptomen oft stärker betroffen, weil bei ihnen kein zweites X-Chromosom zum Ausgleichen vorliegt. Für die Eltern kann die Gewissheit über die genetische Ursache der beeinträchtigen mentalen Entwicklung und der Verhaltensauffälligkeiten ihres Sohnes einerseits eine Entlastung sein, da sie dadurch eventuelle Vorwürfe, ihr Kind „nicht richtig erziehen“ zu können, zurückweisen können. Zum anderen kann das Wissen um die genetische Ursache aber auch Schuldgefühle auslösen, dem Kind die Krankheit mitgegeben zu haben, und es kann wesentlichen Einfluss auf die Entscheidung haben, ob das Paar noch weitere eigene Kinder bekommen möchte. Auch Verwandte, z. B. die Tante mütterlicherseits des betroffenen Jungen, werden dadurch gezwungen, sich auf andere Weise mit ihren Reproduktionsentscheidungen zu befassen als sie es ohne Kenntnis der genetischen Disposition in der Verwandtschaft getan hätten. Dieses Beispiel zeigt, dass Gentests im individuellen, aber auch im familiären Kontext betrachtet werden müssen. Da Gentests Aussagen von weit reichender Bedeutung für die Patienten und ihre Angehörigen machen, kommt der Qualitätssicherung und den Bedingungen, unter denen Gentests durchgeführt werden, sehr große Bedeutung zu [4, S. 34ff].

Die Deutsche Gesellschaft für Humangenetik, die medizinische Fachgesellschaft für humangenetisch tätige Ärzte, setzt sich dafür ein, dass Gentests immer in ein qualifiziertes humangenetisches, bei Bedarf auch interdisziplinäres Beratungsangebot eingebettet sein sollen und hat hierfür Leitlinien veröffentlicht [14]: Humangenetische Beratungsgespräche müssen vor und nach der Durchführung des genetischen Tests geführt werden und folgende Aspekte umfassen:

- Informationen über das zu untersuchende Krankheitsbild,
- Informationen über das Testverfahren, eventuelle Risiken bei der Durchführung der Diagnostik, Aussagekraft des genetischen Tests,
- Präventions-, Therapie- und Handlungsoptionen bei positivem Testergebnis.

Bei Bedarf wird auch psychosoziale Unterstützung in schwierigen Entscheidungssituationen gegeben. Die nicht-direktive Beratung soll die Betroffenen dabei unterstützen, eine aufgeklärte, freie und individuelle Entscheidung zu treffen, die auch das Recht auf Nichtwissen um die genetische Disposition beinhaltet [4, S. 34ff.].

Die von der Gesellschaft für Humangenetik vertretene Position, die hohe Anforderungen an den Umfang und die Qualität der Beratung sowie die Qualifikation des beratenden Fachpersonals stellt, ist jedoch innerhalb der Ärzteschaft nicht unumstritten. Zudem weisen Abrechnungsdaten der Krankenkassen darauf hin, dass im medizinischen Alltag die Zahl der durchgeführten und gegenüber den Krankenkassen abgerechneten genetischen Untersuchungen (z. B. Chromosomenanalysen in der Pränataldiagnostik) die Zahl der abgerechneten humangenetischen Beratungen und auch die Kapazität der qualifizierten humangenetischen Beratung übersteigt. Somit wird ein Teil der genetischen Tests ganz ohne genetische Beratung oder mit Beratungen durchgeführt, deren Qualität nicht den oben dargelegten Qualitätsstandards entspricht. Auch für die Labors, in denen die DNA-Analysen und Gentests durchgeführt werden, gibt es noch keine verbindlichen Vorschriften in bezug auf die einzuhaltenden Qualitätsstandards.

6 Ausblick

In den letzten Jahren haben sich die Möglichkeiten in qualitativer und quantitativer Hinsicht erweitert, DNA-Analysen und Gentests beim Menschen durchzuführen, und dieser Trend wird sich fortsetzen. Weil Untersuchungen des Erbmaterials Aussagen von weit reichender Bedeutung für die untersuchten Personen und ihre

Angehörigen zulassen, kommt den Bedingungen, unter denen Gentests durchgeführt werden dürfen, und Aspekten der Qualitätssicherung zentrale Bedeutung zu. Seit mehreren Legislaturperioden ist ein Gendiagnostikgesetz in der politischen Diskussion, in dem genau diese Rahmenbedingungen festgelegt und verbindlich geregelt werden sollen. Bislang wurden zwar Gesetzesentwürfe erarbeitet, doch gibt es noch keinen Zeitplan, wann sich der Deutsche Bundestag damit befassen wird. Für den Biologie-, Ethik- und Religionsunterricht ergibt sich daraus die – günstige – Situation, dass das Thema "DNA-Analytik und Gendiagnostik" auch in den kommenden Jahren wissenschaftlich, gesellschaftlich und politisch hoch aktuell bleiben wird und in den Medien fast täglich "Aufhänger" zu finden sind, die sich als Einstieg in die unterrichtliche Behandlung und als Motivation zur Befassung mit dem Thema anbieten. Zahlreiche gesellschaftliche Gruppen haben zu einzelnen Aspekten Stellungnahmen veröffentlicht und Position bezogen. Dies eröffnet für die Schülerinnen und Schüler die Möglichkeit, sich in der Auseinandersetzung mit diesen Positionen ein eigenes, fachlich fundiertes und ethisch begründetes Urteil im Themenfeld DNA-Analyse und Gendiagnostik zu bilden.

Literatur:

- [1] Special Issue: Building on the DNA Revolution. *Science* 300 (2003), Nr. 5617, S. 197-376.
- [2] Übersicht über Ziele und Ergebnisse des Humangenomprojekts und die Nutzungsmöglichkeiten der daraus erwachsenden Erkenntnisse (engl). http://www.ornl.gov/sci/techresources/Human_Genome/home.shtml (23.04.2007).
- [3] Portal für Fachinformationen zu humangenetischen Fragen der US-amerikanischen National Institutes of Health (engl). <http://www.genetests.org> (23.04.2007).
- [4] Gaisser, S.; Hüsing, B.; Schiel, B. (2006): Gendiagnostik. Dokumentation der interdisziplinären Fortbildungsveranstaltungen für Lehrerinnen und Lehrer: Biopro Baden-Württemberg GmbH, Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung 2006. http://www.bio-pro.de/imperia/md/content/biopro/veranstaltungen/dokumentation_lehrerfortbildung_2006.pdf (23.4.2007).
- [5] Internetportal für den Zugang zu mehr als vierzig Schülerlaboren im Life Science-Bereich, die Laborurse und Mitmachexperimente für Schulklassen und Lehrkräfte anbieten. <http://www.genlabor-schule.de> (23.04.2007).
- [6] Feuerlein, M.; Pottthof, C. (2005): Schwerpunkt DNA-Analyse: Codierend – nicht codierend. Interview mit Peter Schneider. *Gen-ethischer Informationsdienst GID 21*, Nr. 170, S. 14-19.
- [7] Jeffreys, A. J.; Wilson, V.; Thein, S. L. (1985): Individual-specific 'fingerprints' of human DNA. *Nature* 316, Nr. 6023, S. 76-79.
- [8] Feuerlein, M. (2005): Schwerpunkt DNA-Analyse: Globale Tendenzen. *Gen-ethischer Informationsdienst GID 21*, Nr. 170, S. 20-21.
- [9] Feuerlein, M. (2005): Schwerpunkt DNA-Analyse: Große Koalition "DNA-Analyse". *Gen-ethischer Informationsdienst GID 21*, Nr. 170, S. 6-9.
- [10] Church, G. M. (2006): Das Projekt persönliches Genom. *Spektrum der Wissenschaft*, Juni-Heft, S. 30-39.

- [11] Stoughton, R. B. (2005): Applications of DNA microarrays in biology. *Annual Review of Biochemistry* 74, S. 53-82.
- [12] Deutsches Referenzzentrum für Ethik in den Biowissenschaften (DRZE) (Hrsg.): Prädiktive genetische Testverfahren. Naturwissenschaftliche, rechtliche und ethische Aspekte. *Ethik in den Biowissenschaften – Sachstandsberichte des DRZE, Band 2*, Freiburg, München: Verlag Karl Alber 2006.
- [13] Strowitzki, T. (2006): Reproduktionsmedizin – Fluch oder Segen? IVF, ICSI, PID & Co. *Biologie in unserer Zeit* 36, Nr. 4, S. 226-232.
- [14] Berufsverband Medizinische Genetik e.V.; Deutsche Gesellschaft für Humangenetik: Leitlinien zur Erbringung humangenetischer Leistungen: 1. Leitlinien zur Genetischen Beratung. *medgen* 8 (1996), Nr. 3, Sonderbeilage 1–2. <http://www.medgenetik.de/sonderdruck/1996-3-1.pdf> (23.04.2007).