

# Eine Reise zu unseren Genen

*Der Bauplan jedes Menschen ist in seinen Genen verborgen. Gene bestimmen mit über unsere Haar- und Augenfarbe und sie entscheiden mit darüber, ob wir ein grosses Risiko haben, an Krankheiten wie Krebs zu erkranken oder nicht.*

*Kennen Sie Ihre Gene? Wissen Sie, wo sie stecken und wie sie wirken? Wissen Sie, welche Informationen sie enthalten? Wussten Sie, dass Ihre Gene und die einer Erdbeere oder eines Wurms in der gleichen Sprache geschrieben sind?*

## **1. Gene enthalten den Bauplan des Menschen**

Gene sind von blossen Auge nicht sichtbar und trotzdem sind sie allgegenwärtig. Der Bauplan jedes Menschen ist in seinen Genen verborgen, die er von seinen Eltern bekommen hat. Alle Gene des Menschen zusammen enthalten die gesamte Information darüber, wie aus einer einzelnen, winzig kleinen Zelle (der befruchteten Eizelle), aus der alle Menschen einst entstanden sind, ein erwachsener Mensch wird. Gene haben uns zu einem gewichtigen Teil zu dem gemacht, was wir heute sind: Gene bestimmen mit über unsere Haar- und Augenfarbe und sie reden auch mit, wenn es darum geht, ob wir ein grosses oder kleines Risiko haben, an Krankheiten wie Krebs zu erkranken. Da Gene derart wichtige Informationen enthalten, sind sie gut vor äusseren Einflüssen geschützt und in den Zellkernen versteckt (siehe Video 1.1).

Jeder Mensch besteht aus verschiedenen **Organen** (wie Herz oder Leber), diese wiederum aus **Geweben** (wie Sehnen oder Oberhaut). Jedes Gewebe ist aus einzelnen Zellen aufgebaut. Der Körper eines Menschen besteht aus Billionen von Zellen. **Zellen** sind die kleinsten lebenden Einheiten des Körpers. Sie sind 10 bis 100 Mikrometer gross (1 Mikrometer entspricht einem Millionstel Meter), von Auge sind sie also nicht mehr erkennbar. Sie sind vergleichbar mit Lego-Steinen: Die Leber ist aus Leberzellen aufgebaut, die Muskeln aus Muskelzellen, selbst die Knochen sind aus Zellen aufgebaut. Es gibt insgesamt über 200 verschiedene Zelltypen, die alle gemäss ihren Aufgaben besondere Fähigkeiten besitzen: Eine Nervenzelle kann elektrische Signale übertragen, ein rotes Blutkörperchen Sauerstoff in die Muskeln transportieren (siehe Grafik 1.1).

Dringen wir jetzt tiefer in den Körper ein: Jede Zelle besitzt einen **Zellkern**, in dem die Gene gespeichert sind. Die Gene liegen nicht frei herum, sondern sind gut verpackt in Form von **Chromosomen**. Jeder menschliche Zellkern enthält 23 Chromosomenpaare, also insgesamt 46 Chromosomen. Wenn die genetische Information auf dem einen Chromosom zerstört wird, kann das Schwester-Chromosom sozusagen als Backup funktionieren (siehe Bild 1.1).

## **2. Nur zwei Nanometer Durchmesser, aber zwei Meter lang**

Jedes Chromosom besteht aus einem einzelnen, einige Zentimeter langen DNA-Faden und verschiedenen Proteinen (Histonen), um welche die DNA gewickelt ist. DNA ist das Material, die chemische Substanz, aus dem die Gene sind. DNA steht für "**d**eoxyri**bo**nucleic **a**cid" (Desoxyribonukleinsäure). Würde man alle 46 DNA-Fäden, welche in einem Zellkern auf die Chromosomen verteilt sind, aneinanderreihen, dann wäre dieser Faden zwei Meter lang, aber nur winzige zwei Nanometer (1 nm = 1 Tausendstel Mikrometer) im Durchmesser (siehe Video 1.2).

Bei genauer Betrachtung zeigt sich, dass der DNA-Faden eigentlich aus zwei parallel verlaufenden Strängen besteht, die sich umeinanderwinden wie bei einer in sich verdrehten Strickleiter; man spricht von einer Doppelhelix. Die Seile der Strickleiter werden durch eine Zucker-Phosphat-Kette gebildet: Ein Zucker (Desoxyribose) und eine Phosphatgruppe wechseln sich ab. Interessanter für die Biologen sind jedoch die Sprossen der Strickleiter: Sie bestehen aus den Basen Adenin, Cytosin, Thymin und Guanin, welche mit A, C, T und G abgekürzt werden. Pro Stufe paaren sich jeweils entweder ein A und ein T, oder ein C und ein G. Diese vier Bausteine A, C, T und G bilden das Alphabet der Gene. Das Gen-Alphabet ist vergleichbar mit unserem aus 26 Buchstaben bestehenden Alphabet, nur dass das Gen-Alphabet aus lediglich vier Buchstaben besteht.

Der DNA-Faden ist eine Aneinanderreihung der Bausteine A, C, T und G. Das Hämoglobin-Gen zum Beispiel beginnt mit: CCCTGTGGAGCCACACCCTAG... und ist insgesamt 43'000 Bausteine lang. Seit dem Jahr 2003 wissen die Forschenden, wie viele solcher Bausteine insgesamt auf dem zwei Meter langen DNA-Faden des Menschen Platz haben: 3,2 Milliarden Bausteine (siehe Video 1.3).

### 3. Bausteine des Menschen entziffert

Gene sind Abschnitte auf dem DNA-Faden, welche eine Information für den Bau von Proteinen enthalten. Heute wissen wir, dass es etwa 23'000 Gene sind (siehe Textbox "Das Gen-Rennen"). Zum Vergleich: Das Darmbakterium *Escherichia coli* besitzt 4'500 Gene, der Fadenwurm *Caenorhabditis elegans* etwa 19'000. Fast gleichviel Gene wie der Mensch besitzt die Pflanze *Arabidopsis thaliana* (Ackerschmalwand) mit 28'000 Genen. Alle Gene zusammen bilden das Genom, die Gesamtheit aller Gene eines Lebewesens.

#### **Unnütze DNA?**

Nicht alle Abschnitte der DNA enthalten Information zum Bau von Proteinen. Überraschenderweise ist es sogar so, dass über 95 Prozent der DNA anscheinend keinerlei Information enthalten. Man nennt diesen Teil daher «Junk-DNA», also Abfall-DNA. In den letzten Jahren haben Forschende jedoch immer wieder neue Funktionen für die angeblich unnütze DNA gefunden. Das Thema ist noch nicht abschliessend geklärt.

#### **Das Gen-Rennen**

Wieviele Gene der Mensch besitzt, wissen wir aufgrund eines immensen Forschungsprojekts mit dem Namen "Human Genome Project" (HGP). Beim HGP haben während dreizehn Jahren anfangs einige wenige, gegen Ende 2'800 Forscherinnen und Forscher in weltweit 20 Forschungszentren daran gearbeitet, die mehr als drei Milliarden Bausteine des Menschen zu entziffern. Sie haben nicht nur die ungefähre Anzahl der Gene bestimmt, sondern auch, wo auf den Chromosomen sie liegen. Die Entzifferung des menschlichen Genoms war auch eines der spannendsten Rennen in der Wissenschaftsgeschichte, denn neben dem öffentlich finanzierten HGP versuchten

Wissenschaftler des privaten Unternehmens Celera den Bauplan zu veröffentlichen. Das Rennen endete unentschieden: Gemeinsam haben die beiden Institutionen 2001 eine erste, jedoch noch unvollständige Genom-Version veröffentlicht. Zwei Jahre später folgte eine beinahe vollständige Version. Resultat des Human Genome Projektes war die Abfolge von 3,2 Milliarden Buchstaben. Die A, C, T und G's würden etwa 1'000 Bücher im Umfang der Bibel füllen.

Die Technik, bei der Forschende die Abfolge der vier Bausteine auf dem DNA-Faden bestimmen, heisst Sequenzieren. Vor 20 Jahren bedeutete Sequenzieren noch viel Handarbeit. Heute kommen jedoch vollautomatisierte Sequenziermaschinen zum Einsatz, welche immer rascher und immer präziser die Abfolge der Basenpaare bestimmen. Sie sequenzieren das menschliche Genom innerhalb von wenigen Tagen für weniger als 1000 Franken.

#### **4. Vom Gen zum Protein**

Wie entsteht nun aus der Abfolge von A, C, T und G ein Mensch? Das Alphabet der Gene wird in den Bauplan der Proteine übersetzt: Ein Gen ist Information auf dem DNA-Strang. Diese Information wird für den Aufbau von Proteinen genutzt. Erst die Proteine machen das Wesen einer Zelle aus; als Enzyme, Hormone, Struktur- oder Regulatorproteine und vieles mehr. Sie transportieren im Körper bestimmte chemische Verbindungen (z. B. Hämoglobin). Der ganze Energiehaushalt des Menschen wird von Proteinen organisiert. Zellen bestehen nebst Wasser zum grössten Teil aus Proteinen. Den Grundbaustein der Proteine stellt ein Satz von 20 verschiedenen Aminosäuren dar.

Der Schritt vom Gen zum Protein ist aufgeteilt in Transkription und Translation (für einen Überblick siehe Grafik 1.2.1 und 1.2.2). In einer ersten Phase wird die genetische Information der DNA in RNA überschrieben. Dieser Vorgang heisst Transkription (siehe Video 1.4).

RNA ist im Gegensatz zur DNA nicht doppel-, sondern einzelsträngig. Zudem wird bei der RNA die Base Thymin durch Uracil (U) ersetzt. Die Transkription geschieht im Zellkern und wird vom Enzym RNA-Polymerase durchgeführt. Die RNA-Polymerase bewegt sich dabei dem DNA-Strang entlang und kopiert die DNA-Information in RNA. Resultat dieses Vorgangs ist ein Faden mit mRNA (englisch: messenger RNA, deutsch: Boten-RNA). Das Überschreiben von DNA in RNA ist vergleichbar mit einer Sicherheitsmassnahme der Natur: Die Originalinformation auf der DNA verbleibt so im gut geschützten Zellkern. Zum Protein übersetzt wird lediglich eine Matrize, die mRNA, und dies nicht im Zellkern, sondern im Zellplasma an den Ribosomen. Ribosomen sind die «Fabriken», welche die Proteine herstellen.

Der nächste Schritt heisst Translation (siehe Video 1.5 und Grafik 1.3). Jeweils drei Bausteine auf dem mRNA-Faden werden in eine bestimmte Aminosäure übersetzt. Aus CUU wird zum Beispiel die Aminosäure Leucin, aus AGA wird Arginin usw. Die einzelnen Aminosäuren reihen sich aneinander und aus der daraus entstehenden Kette faltet sich dann das dreidimensionale funktionale Protein.

Kinder erhalten die Hälfte der Gene von der Mutter und die andere Hälfte vom Vater. Falls ein Kind zum Beispiel Sommersprossen hat, so enthält sein Genom das «Gen für Sommersprossen», das entweder vom Vater oder von der Mutter oder von beiden stammt. Die Zelle des Kindes übersetzt nun die genetische Information in das Merkmal Sommersprossen. Das «Gen für Sommersprossen» sorgt für die Herstellung

von Proteinen und durch das Zusammenwirken dieser Proteine kommt es zur Ausprägung des Erbmerkmals, den Sommersprossen im Gesicht (siehe Box).

### **Rothaarige Schotten**

Heute weiss man, dass spezifische Varianten des sogenannten Ginger-Gens MC1R (rote Haare und helle Haut) auch für Sommersprossen verantwortlich sind. Entgegen der Annahme hat nicht Irland die meisten rothaarigen Bewohner, sondern Schottland mit ca. 13 Prozent. 40 Prozent der Schotten tragen das Ginger-Gen in sich. Möglicherweise hatten bereits Neandertaler in Europa rote Haare: Darauf deuten Funde einer Variante des MC1R-Gens hin. Das Ginger-Gen dürfte somit älter als 50 000 Jahre sein.

## **5. Gentechnik: Wissen anwenden**

Die Anwendung des Wissens über die Gene wird Gentechnik genannt. Was Gentechnik kann, wird am besten verständlich anhand eines Beispiels: Bei Diabetikern produziert der Körper zu wenig des Proteins Insulin und es muss daher oft täglich gespritzt werden. Ein grosser Meilenstein für Diabetiker stellte die gentechnische Herstellung von Insulin in den 1980er-Jahren dar. Bis zu diesem Zeitpunkt wurde Insulin aus Schweinen und Rindern gewonnen. Trotz aller Vorsichtsmassnahmen bestand bei diesem Vorgehen aber immer die Gefahr, dass Krankheitserreger vom Spendertier auf den Menschen übertragen werden. Ab und zu kam es zudem zu Unverträglichkeiten, weil der menschliche Körper die tierischen Proteine abstiess. Die Gentechnik brachte für Diabetiker weitere Vorteile: Erstmals konnten Insulin in genügend grosser Menge produziert und Proteinvarianten mit unterschiedlicher Wirkungsdauer entwickelt werden. Zudem konnte ein Insulin-Protein hergestellt werden, das genau dem menschlichen Insulin entsprach.

## **6. Ob Mensch oder Mikrobe, der genetische Code ist universell**

Wie aber wird das Protein Insulin gentechnisch hergestellt? Grundlage für das Funktionieren der Gentechnik ist die Tatsache, dass alle Lebewesen, ob Mensch, Tier oder Pflanze, ihre genetischen Informationen in den gleichen vier Bausteinen speichern. Ob Mensch oder Mikrobe, der genetische Code ist universell. Es besteht daher die Möglichkeit, Gene zwischen Lebewesen auszutauschen. Hefepilze zum Beispiel besitzen eine Anzahl von Genen, die so weitgehende Übereinstimmungen mit den entsprechenden Genen des Menschen zeigen, dass sie diese in menschlichen Zellen funktionell ersetzen können. Forscherinnen und Forscher können manchmal die Wirkung eines Gens, das für eine Krankheit beim Menschen verantwortlich ist, durch das Studium des Pendantes in Hefepilzen untersuchen.

Bei der gentechnischen Herstellung von Insulin übernehmen Bakterien die Produktion des menschlichen Proteins. Oft verwenden Forschende das Darmbakterium *Escherichia coli* (kurz *E. coli*). Möglich sind jedoch generell auch die Bäckerhefe *Saccharomyces cerevisiae* oder Hamsterzellen.

Die Insulin-Gewinnung ist vergleichsweise einfach: Das Insulin-Gen wird mit gentechnischen Methoden aus dem Genom des Menschen isoliert. Der DNA-Faden mit dem darauf enthaltenen Insulin-Gen wird dann in Plasmide integriert. Plasmide sind

ringförmige DNA-Moleküle, welche in Bakterienstämmen vorkommen. Gentechniker benützen Plasmide als «Gen-Taxis», welche das gewünschte Gen (in unserem Beispiel Insulin) aufnehmen und in ein Bakterium einführen. Wenn sich die Bakterien vermehren – und dies tun sie unter kontrollierten Bedingungen in einer Produktionsanlage –, so stellen sie nicht nur die Proteine her, die sie für ihre eigene Vermehrung benötigen; es entsteht auch das Protein Insulin, das gemäss dem neu eingeführten Gen zusammengebaut wird. Der Einbau des Insulin-Gens in ein Plasmid und die Vermehrung durch Bakterien nennt man Klonierung. Details über diesen Prozess verrät das Kapitel [Klonieren](#).

Nach der Vermehrung wird das Insulin «geerntet»: Bei *E. coli*-Bakterien wird die Zellwand aufgebrochen und aus der Vielzahl verschiedener Proteine das Insulin herausgefiltert. Eine solche Reinigung ist oft kompliziert und muss über mehrere Stufen erfolgen. Doch innerhalb von wenigen Tagen lassen sich auf diese Weise Substanzen in grossen Mengen gewinnen, die im menschlichen Körper nur in Spuren vorhanden sind. Das Insulin kann nun Diabetikern verabreicht werden.

Insulin ist nur ein wichtiges Beispiel wie Gentechnik funktioniert. Viele weitere Medikamente werden heute gentechnisch hergestellt. Seit Ende der 80er-Jahre wächst die Liste der Medikamente, die auf der Gentechnik beruhen, stetig an: 2005 waren 90 gentechnisch hergestellte Produkte in der Schweiz zugelassen. Die meisten dienen als Medikamente, einige als Impfstoffe. Sie werden bei Krankheiten wie Diabetes, der Bluterkrankheit oder dem angeborenen Zwergwuchs eingesetzt, sie helfen bei einem Herzinfarkt, bei Infektionskrankheiten und unterstützen die Krebstherapie. Heute kommen fast nur noch Medikamente auf den Markt, bei deren Entwicklung direkt oder indirekt Gentechnik beteiligt war. Wird Gentechnik im Bereich der Medizin angewendet, spricht man von roter Gentechnik. Die Technik wird heute aber auch in vielen anderen Bereichen angewendet, zum Beispiel in der Landwirtschaft, um Pflanzen neue Eigenschaften zu vermitteln. Man spricht dann von grüner Gentechnik. Die Techniken basieren auf demselben Prinzip.

## **7. Die uralte Biotechnik**

Biotechnik (oder Biotechnologie) ist ein Überbegriff der Gentechnik (oder Gentechnologie). Heute sind die beiden Begriffe allerdings eng miteinander verwandt, meinen zum Teil dasselbe und werden oft verwechselt. Das war nicht immer so, denn die Biotechnik ist viel älter als die Gentechnik, die erst wenige Jahrzehnte alt ist. Seit mehr als 8'000 Jahren nutzt der Mensch die biologischen Fähigkeiten von Mikroorganismen, um Lebensmittel wie Bier, Essig, Joghurt und Käse herzustellen. Die klassischen biotechnischen Methoden sind der Menschheit seit Urzeiten vertraut. Ohne dass die alten Kulturvölker von Hefepilzen und Milchsäurebakterien eine Ahnung hatten, bedienten sie sich dieser Kleinstlebewesen, um Nahrungsmitteln zu vorteilhaften Veränderungen in Geschmack und Konsistenz zu verhelfen.

Ein besonderes Beispiel der Biotechnik ist die Gerberei: Leder wurde früher mit Hundekot behandelt, um die Eiweisse der Tierhäute zu spalten, also zu gerben. Heute weiss man, dass auf den Exkrementen der Hunde Bakterien wachsen, die bestimmte Enzyme freisetzen, welche den Fäulnisprozess der Tierhaut unterbinden. Heute werden diese Enzyme – zum Glück – technisch hergestellt.

Ein anderes bekanntes Beispiel der Biotechnik ist die Herstellung von Bier, welche mit Hilfe von Hefepilzen des Stammes *Saccharomyces* geschieht. Das sind Pilze, welche die Gärung in Schwung bringen, indem sie Zucker zu Alkohol und Kohlendioxid verarbeiten – allerdings nur, wenn den Pilzen kein Sauerstoff zur Verfügung steht. Schon die Sumerer und Babylonier wussten Hefe zur Herstellung von bierähnlichen Getränken zu nutzen. Bei der Herstellung von Joghurt und Käse wiederum helfen Milchsäurebakterien. Über die Jahrhunderte haben die Menschen die Eigenschaften von Hefepilzen oder Milchsäurebakterien mittels Zucht- und Kreuzungsverfahren verbessert.

## **8. Genetik: Wie Vererbung funktioniert**

Die Genetik (Vererbungslehre) ist ähnlich alt wie die Biotechnik: Eine babylonische Tafel, mehr als 6'000 Jahre alt, zeigt den Stammbaum von Pferden, andere alte Zeichnungen zeigen Kreuzungsversuche mit Palmen. Durch klassische Zucht- und Kreuzungsverfahren entstanden Kulturpflanzen und Haustiere mit neuen Eigenschaften, die dem Menschen nützlich waren. Welch enormes Veränderungspotential den genetischen Methoden innewohnt, zeigt auch die Rassenvielfalt der Hunde, die aus dem Wolf herausgezüchtet wurden.

Lange Zeit war den Menschen nicht klar, wie die Mechanismen der Vererbung funktionieren. Aristoteles zum Beispiel meinte, dass das männliche Sperma gereinigtes Blut sei und dass Blut daher das Element der Vererbung sei. Dieses Konzept überlebte lange in der westlichen Welt. Dies belegen die noch heute verwendeten Begriffe "blaues Blut" und "Blutsverwandtschaft".

## **9. Mendels Entdeckungen interessierten zunächst niemanden**

Ein österreichischer Augustinermönch entdeckte um das Jahr 1865 die Gesetze der Vererbung. Gregor Mendel führte seine Versuche im Klostergarten anhand von verschiedenen Sorten der Gartenerbse durch, welche sich durch eindeutige von Auge erkennbare Merkmale unterschieden, zum Beispiel der Farbe der Blüten. Mendel kreuzte, indem er die Pollen der einen Sorte auf die Narben der anderen brachte. Dabei entdeckte er grundlegende Gesetzmässigkeiten bei der Verteilung von Erbanlagen auf die Nachkommen, die heute als Mendelsche Gesetze bekannt sind. Mendel veröffentlichte seine Entdeckungen in zwei wissenschaftlichen Arbeiten, die aber keinerlei Einfluss auf die Biologie seiner Zeit hatten. Niemand erkannte damals den Wert seiner Forschung. Erst im Jahre 1900 entdeckten drei Biologen bei ihren Kreuzungsversuchen ähnliche Gesetzmässigkeiten und stiessen bei ihren Recherchen auf Mendels Versuche.

Im Verlauf des 20. Jahrhunderts entdeckten Forschende immer mehr über die Gesetzmässigkeiten der Vererbung, über den Aufbau der Chromosomen, über das Erbmaterial DNA. Die klassische Genetik entwickelte sich insbesondere in den letzten zwanzig Jahren immer mehr in Richtung molekulare Gentechnik. Genetik und Gentechnik verfolgen eigentlich die gleichen Ziele, jedoch mit anderen Methoden. Mittels Kreuzungen hat der Mensch bei Tieren und Pflanzen seit Jahrhunderten versucht, favorisierte Merkmale herauszukreuzen. Allerdings hat dieser Prozess einen Haken, denn bei Kreuzungen wird nicht nur das gewünschte Gen gekreuzt, sondern das ganze Genom. Mit Hilfe der Gentechnik haben Forscherinnen und Forscher heute die Möglichkeit, ganz gezielt ein Gen für ein bestimmtes Merkmal aufzuspüren und zu verändern.

## 10. Ethische Aspekte: Chancen und Risiken abwägen

Da in der Gentechnik in den letzten zwanzig Jahren enorme Fortschritte erzielt wurden, wirft diese Technik stets neue Fragen auf. Darf der Mensch in das Erbgut von Bakterien, Hefen, Pflanzen und Tieren eingreifen? Auch beim Menschen, wenn das Ziel darin liegt, Kranken zu helfen? Darf der Mensch zu therapeutischen Zwecken sogar ins menschliche Keimgut eingreifen? Wie geht der Staat mit den anfallenden genetischen Daten seiner Bürger um? Sollen Krankenkassen und Versicherungen in genetische Daten von Personen Einblick haben? Darf die Gentechnik flächendeckend eingesetzt werden, um mit Hilfe eines genetischen Fingerabdrucks einen Mörder zu finden?

Grundsätzlich geht es bei der Gentechnik – wie bei jeder anderen Technik auch – um ein Abwägen von Chancen und Risiken: Jedes Land muss entscheiden, was erlaubt sein soll und wo die Grenzen zu ziehen sind. Mit fortschreitender Technik müssen die Chancen und Risiken immer wieder neu abgewogen werden.

In der Schweiz wurde in der Bevölkerung viel über das grundsätzliche Für und Wider der Gentechnik debattiert, als man 1998 über die «Gen-Schutz-Initiative» abstimmte. Zwei Drittel der Schweizer Bevölkerung sprachen sich damals für den Grundsatz «Kontrolle statt Verbote» aus: Man solle die Gentechnik kontrollieren, aber nicht verbieten. Dieser Grundgedanke besteht noch heute und ist so in der Gesetzgebung wiederzufinden. In der Bundesverfassung steht unter Artikel 119: «Der Mensch ist vor Missbräuchen der Fortpflanzungsmedizin und der Gentechnologie geschützt». Das Gentechnik-Gesetz wiederum schreibt sehr genau vor, wie mit gentechnisch veränderten Organismen umgegangen werden muss. Auch der Eingriff in das menschliche Erbgut ist gesetzlich geregelt. In der Bundesverfassung steht: «Alle Arten des Klonens und Eingriffe in das Erbgut menschlicher Keimzellen und Embryonen sind unzulässig.»

Die Chancen der roten Gentechnik (wie die Gentechnologie in der Medizin genannt wird) werden heute allgemein höher eingestuft als ihre Risiken. Viele erfolgreich angewendete Medikamente sind die Basis für diesen Konsens. Skeptischer ist die Bevölkerung bei der grünen Gentechnik, bei der gentechnischen Veränderung von Pflanzen. Dort überwiegen in europäischen Ländern derzeit die Risiken. In den USA und vielen anderen Ländern der Welt werden gentechnisch veränderte Pflanzen seit Jahren angebaut und konsumiert.

Weitere Informationen finden Sie unter: [biotechlerncenter.interpharma.ch](http://biotechlerncenter.interpharma.ch)

# Arbeitsblatt 1

## Verständnisfragen zum Text:

- Wie unterscheidet sich RNA von DNA? Nennen Sie zwei Unterschiede.

Antwort: 1. RNA besteht aus einem einzelnen Strang, DNA ist ein Doppelstrang. 2. Bei der RNA ist die Base Thymin (T) durch ein Uracil (U) ersetzt.

- Die Sequenz eines DNA-Stranges lautet: AATTCGTCGGTCAGCC. Wie ist die Sequenz des komplementären Stranges?

Antwort: TTAAGCAGCCAGTCGG.

Welche Chancen bietet die Gentechnik? Und welche Risiken? (Weitere Informationen finden Sie unter [Wikipedia.](#))

## Größenordnungen:

Der Durchmesser der DNA liegt im Bereich von Nanometern. Finden Sie einen Vergleich: Wenn ein Pingpong-Ball einen Durchmesser von einem Nanometer hätte, wie gross wäre dann ein Objekt von einem Meter? Mit welchen Objekten wäre das vergleichbar?

Gehen Sie in einer virtuellen Reise vom Menschen bis zu den Genen: Welche wichtigen Barrieren wird der Reisende durchqueren. In welcher Größenordnung bewegt sich der Reisende jeweils?

## Struktur der DNA:

Schneiden Sie aus beiliegendem [Schema](#) die Basen einzeln aus. Schneiden Sie dann die beiden Zucker-Phosphat-Rückgrate entlang der gestrichelten Linie aus. Setzen Sie folgende Sequenz zusammen: CCATGA.

Das [DNA-Helix-Spiel](#)

DNA Workshop

[DNA-Replikation und Translation](#) (Quelle: PBS)

## Biotechnologie:

Biotechnologie wird heute vielfältig angewendet: Wo überall? Was bedeuten die Begriffe grüne, rote, blaue, graue und weisse Biotechnologie? (Für weitere Informationen siehe [Wikipedia](#))

## Fragen zur Gen-Ethik

Der Mensch hat seit Jahrtausenden viele Tier- und Pflanzenarten durch Zuchtverfahren genetisch verändert. Warum hat wohl die moderne Gentechnik, die oft nur ein Gen verändert, eine so heftige öffentliche Gegenbewegung ausgelöst?

Stellen Sie sich vor, Ihre Mutter oder Ihr Vater hätte eine genetisch bedingte, unheilbare und tödlich verlaufende Krankheit (z. B. Chorea Huntington). Würden Sie bei sich testen lassen, ob sie die genetische Voraussetzung für die Krankheit besitzen? Warum oder warum nicht?



Wer sollte Zugriff auf die Sequenz des menschlichen Genoms haben? Wer sollte Zugriff auf persönliche genetische Informationen haben?

### **Menschliches Genom**

Im Internet: Sehen Sie sich die [Sequenz des menschlichen Genoms](#) an.

Aufgabe: Finden Sie die Sequenz des Insulin-Gens. Wie viele Buchstaben umfasst das Gen?

[Experiment](#)

## **Arbeitsblatt 2**

Experiment

### **DNA sichtbar machen**

Die Klasse wird in Gruppen à ca. 4 Personen aufgeteilt. Jede Schülerin, jeder Schüler erhält ein «Laborjournal» ([dna\\_extraktion\\_laborjournal.pdf](#), [dna\\_extraktion\\_laborjournal.doc](#)), und schlüpft somit in die Rolle einer Forscherin oder eines Forschers. Denn jeder gute Forschende führt ein Laborjournal, indem der Ablauf der Experimente sauberlich festgehalten wird.

Die Lösungsfolie ([dna\\_extraktion\\_loesung.pdf](#), [dna\\_extraktion\\_loesung.doc](#)) wird durch die Lehrperson per Projektor aufgelegt. Die Lösungsfolie beschreibt das Experiment Schritt für Schritt

### **Anregung:**

- [Learning Center von ETH und Universität Zürich](#) Schulklassen haben hier die Gelegenheit am Puls der Wissenschaft selber Experimente durchzuführen, und im Kontakt mit Forschenden die Bedeutung naturwissenschaftlicher Erkenntnisse für die Gesellschaft durchaus auch kritisch zu diskutieren.
- Besuch des [Schullabors der Novartis](#)
- [Mobiles Genlabor](#) des Vereins Forschung für Leben

## **Dokumente**

[Meilensteine und Persönlichkeiten der Genetik und Gentechnik](#)

[Mit DNA-Profilen Verbrecher jagen](#)

nzz.ch, 23.1.2008:

[Bundesamt für Polizei fedpol: „DNA-Analyse“](#)

## **Links**

[DNA interactive](#), ausgezeichnetes Lehrtool für Lehrer und Schüler (englisch)

[DNA from the beginning](#) (englisch, französisch, italienisch). Mit Sektionen klassische Genetik, Molekularbiologie, Genetische Organisation und Kontrolle

[Gene ABC](#) (deutsch, französisch, italienisch)

Arbeiten im [virtuellen Labor](#): DNA vermehren mit Hilfe von PCR, sequenzieren und untersuchen. «The Bacterial Identification Lab» des Howard Hughes Medical Institute.

Einfache biologische Experimente von [BiOutils](#) (französisch)

[Die Zelle](#), begehbare Modell einer ca. 300'000-fach vergrößerten menschlichen Körperzelle

### **Informationen zu Gentechnik und Politik (Gen-Schutz-Initiative)**

[Gen-Schutz-Initiative Abstimmung](#)

[Vox-Analyse](#) von gfs.bern zur Gen-Schutz-Initiative

[Umfrage von gfs-Zürich](#) zum Einsatz von Gentechnik in der Landwirtschaft (2015)