

Geschichte der Bio- / Gentechnologie

Eine Chronologische Zusammenstellung einiger wichtiger Ereignisse aus
Forschung, Politik, Wirtschaft und Ethik

Hochschule der Medien – FH Stuttgart
Ausarbeitung im Rahmen des Wahlpflichtfachs Bioethik im WS 2001 / 2002
3. Semester Informationswirtschaft
Sabine Lauermann
Markus Leibold
Bettina Tauber

Januar 2002

Betreuender Dozent: Prof. Dr. Capurro

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	3
2	Chronologie.....	4
	Ab 1854.....	4
	Ab 1900.....	5
	Ab 1910.....	6
	Ab 1920.....	6
	Ab 1930.....	6
	Ab 1940.....	7
	Ab 1950.....	7
	Ab 1960.....	8
	Ab 1970.....	9
	Ab 1980.....	12
	Ab 1990.....	14
	Ab 2000.....	16
3	Fazit.....	17
4	Anhang	18
	Literatur und Internetquellen.....	18
	Weiterführende Quellen.....	18

1 Einleitung

Diese Arbeit stellt einige bemerkenswerte Ereignisse und Ergebnisse der Gentechnologie im letzten Jahrhundert zusammen. Wir haben uns bemüht, aus einigen Quellen die wichtigsten Stationen zusammenzutragen. Der Sinn und Zweck dieser Zusammenstellung ist nicht primär die Vollständigkeit der gentechnologischen Ereignisse. Wir möchten vielmehr mit dieser Chronologie eine Übersicht bieten, die den Einstieg und die Orientierung in diesem sehr komplexen Themengebiet erleichtern soll.

Im Rahmen des Seminars Bioethik im Wintersemester 2001 / 2002 haben wir (Sabine Laueremann, Markus Leibold, Bettina Tauber) auf das Thema „Geschichte der Gentechnologie“ unser Hauptaugenmerk gerichtet und hierzu in einigen Quellen recherchiert. Daneben haben wir im Seminar mit unseren KomilitonInnen über aktuelle Geschehnisse und öffentliche Kontroversen der Bio- und Gentechnologie diskutiert und auch über die Themengebiete der anderen Seminarteilnehmer einiges erfahren.

Was wir heute unter „Geschichte der Gentechnologie“ verstehen, ist in seiner Komplexität natürlich nicht mit dem vergleichbar, was die Forschung heute (und in Zukunft) weiss. Aber gerade die zurückliegenden Ereignisse der Forschung legten den Grundstein und sind Voraussetzung für das, was heute mit Gen- und Biotechnologie möglich ist oder möglich scheint. Obwohl sich die Forschung in den letzten Jahrzehnten ein unheimliches Mass an Können angeeignet hat, kann man nicht wirklich behaupten wesentlich mehr zu wissen als früher. Gene sind manipulierbar, aber man hat sie noch längst nicht im Griff. Niemand weiss, welche Interaktionen zwischen verschiedenen Genen möglich sind und stattfinden. Das einzige, was bekannt ist, sind die Funktionen einiger Gene und was sie primär bewirken. Sekundäre oder Tertiäre Wechselwirkungen sind aber nicht abschätzbar.

Dieses Unwissen über die unbekanntenen möglichen Folgen ruft zu diesem Thema immer wieder Diskussionsbedarf hervor, der heute hochaktuell ist. Was man mit dieser Wissenschaft kann und nicht kann – was passieren kann und was man verhindern kann – das kann man bisher in vielen Bereichen nur vermuten. Erfahren wird man es nur, wenn die Forschung in irgendeiner (verträglichen) Weise vorankommt.

1850



1860

1900



1910



1920



1930



1940



1950



1960



1970



1980



1990

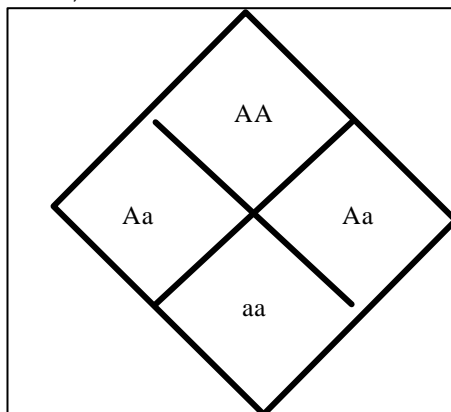


2000



1854-1866

Der Augustinerpater **Gregor Johann Mendel** führte seine Züchtungsexperimente mit Erbsen- und Bohnenpflanzen durch. Er kreuzte dabei Pflanzen mit „konstant differierenden“ Merkmalen (z. B. hochwüchsige mit kleinwüchsigen Pflanzensorten) untereinander. Dabei entdeckte er, dass die erste Generation von Mischlingen ein gleichförmiges Aussehen (alle Nachkommen waren hochwüchsig) aufwies. Mendel folgerte daraus, dass sich ein Merkmal gegenüber dem anderen dominant verhält. Das zunächst unterdrückte Merkmal bezeichnete er als *rezessiv*. Bei der Selbstbestäubung einer entstandenen Bastardpflanze stellte er fest, dass das rezessive Merkmal (Niederwuchs) der Elternpflanzen der ersten Generation wieder in Erscheinung trat und zwar in dem Verhältnis 1:3. Es gab also offensichtlich zwei verschiedene Typen hochwüchsiger Pflanzen und zwar diejenigen, die einen reinen Stamm bildeten und nur hochwachsende Pflanzen hervorbrachten und jene, mit einem unreinen Stamm, die sowohl kurz- als auch hochwüchsige Nachkommen hervorbrachten.



Das Kreuzungsquadrat:

Bei der Vereinigung von Eizelle und Pollen gibt es vier verschiedene Möglichkeiten.

AA steht hier für die Hochwüchsigkeit der gekreuzten Pflanzen. Da beide Allele identisch sind, so werden auch ihre Nachkommen hochwüchsig sein (und zwar stabile Hohe AA).

aa steht für Kleinwüchsigkeit. Diese Pflanzen werden ausschließlich kleinwüchsigen Nachwuchs erzeugen (stabile Kurze aa).

Aa stellt eine Mischform dar. Eine Verbindung dieser Pflanzen wird 2/3 hochwüchsige und 1/3 kurzwüchsige Pflanzen hervorbringen. Und zwar genauer 1/4 Hohe stabile AA, 1/2 Hohe Aa, die niedrige Pflanzen erzeugen

Mendel folgerte daraus, dass jede Pflanze über ein so genanntes Erbfaktorenpaar für ein bestimmtes Merkmal (z. B. Höhe) verfügt. Sowohl der männliche Teil (Pollen) einer Pflanze, als auch der weibliche Teil (Eizelle) enthält jeweils einen Erbfaktor. Bei der Selbstbestäubung vereinigen sie sich und die Nachkommen besitzen dann wieder ein Erbfaktorenpaar. Das Aufspalten der Merkmale in den späteren Generationen erfolgt durch die verschiedenen Kombinationsmöglichkeiten der Faktoren untereinander, die einer bestimmten zahlenmäßigen Gesetzmäßigkeit folgt

1865/1866

1865 hielt Mendel eine Vorlesung über die Ergebnisse seiner Kreuzungsversuche. 1866 veröffentlichte er einen Aufsatz „Versuche über Pflanzenhybriden“, der zunächst kaum Beachtung fand. Dabei legte Mendels Werk den *Grundstein der modernen Genetik*. Er bewies erstmals, dass Erbmerkmale nach festen Regeln durch genetische Faktoren vererbt werden, die ihre Eigenschaften an nachfolgende Generationen weitergeben

1869

Friedrich Miescher isoliert eine saure Substanz, die Nukleinsäure als Hauptbestandteil des Chromatins, aus Zellkernen. Mittels Elementaranalyse fand er 14 % Stickstoff, 3 % Phosphor und 2 % Schwefel (der aus Proteinen stammte). Da sich die Substanz nicht durch das Eiweißspaltende Enzym Pepsin zerlegen ließ, folgerte er, dass es sich nicht um Proteine handeln konnte.

1850

•

•

1860

•

•

1900

•

•

1910

•

•

1920

•

•

1930

•

•

1940

•

•

1950

•

•

1960

•

•

1970

•

•

1980

•

•

1990

•

•

2000

•

•

•

•

•

•

•

1900

1900 bestätigten drei Forscher: **Carl Correns**, **Erich von Tschermak** und **Hugo de Vries** durch Züchtungsexperimente Mendels Vererbungstheorie, die sie unabhängig voneinander wieder entdecken.

1901

De Vries entdeckte bei einer Nachtkerzenpflanze die Entstehung eines neuen Merkmals durch die scheinbare sprunghafte Veränderung eines Gens und nannte dieses Phänomen „Mutation“ (lat.: Veränderung).

1902

Walter Stanborough Sutton stellte eine Chromosomentheorie der Vererbung auf. Er entdeckte, dass sich Mendels Erbfaktoren auf Chromosomenpaaren befinden.

1905

William Bateson führt den Begriff „Genetik“ ein

1909

Wilhelm Johannsen prägt das Konzept des „Gens“ als Träger der Vererbung. Außerdem initialisierte er die Begriffe des Phänotyps und des Genotyps.

1850

•

•

1860

•

•

1900

•

•

1910

•

•

1920

•

•

1930

•

•

1940

•

•

1950

•

•

1960

•

•

1970

•

•

1980

•

•

1990

•

•

2000

•

•

•

•

•

•

1910

Der amerikanische Biologe **Thomas Hunt Morgan** führte, inspiriert von Mendels Experimenten, ähnliche Vererbungsversuche mit der Taufliege *Drosophila melanogaster* durch. Diese Fliegenart eignete sich hervorragend für Morgans Kreuzungsexperimente, da es seinem Forscherteam gelang, eine große Anzahl von unterschiedlichen vererbaren Merkmalen (z. B. Flügelformen, Körper- und Augenfarbe usw.) bei ihr zu identifizieren. Anhand ihrer Vielgestaltigkeit konnte Morgen erforschen, wie verschiedene Genkombinationen bei der Steuerung der Vererbung eines einzelnen Merkmals zusammenarbeiten.

In unzähligen Versuchen mit der Taufliege konnte er zeigen, dass Gene ähnlich, wie bei einer Perlenkette, auf den Chromosomen aufgereiht sind.

Morgen war es auch, der Methoden zur Kartierung der relativen Lage von verschiedenen Genen auf den Chromosomen der Taufliege entwickelte.

1926

Hermann J. Muller, ein Schüler Morgans, entdeckte, dass sich das Erbgut durch Röntgenstrahlen verändert und dies zu einer Zunahme von Mutationen führt.

1932

Niels Bohr hielt 1932 eine Vorlesung auf einem internationalen Kongress in Kopenhagen mit dem Titel „Light and Life“ (Licht und Leben). Darin versuchte er seine Sichtweise der biologischen Vorgänge mit physikalischen Prinzipien zu erklären.

Max Delbrück, ein deutscher Chemiker und Kernphysiker wurde von Bohrs Vortrag inspiriert, der Frage nach einer physikalische Struktur der Gene auf den Grund zu gehen.

1935

Max Delbrück äußerte sich zusammen mit **N. W. Timofejew-Ressowsky** und **K. G. Zimmer** im „Grünen Pamphlet“ über die Natur des Gens. Sie vermuteten, dass es sich dabei um fest umrissene Einheiten eines Stoffes handelt.

Dieser Artikel legte die Basis der modernen Molekulargenetik.

1850

•

•

1860

•

•

1900

•

•

1910

•

•

1920

•

•

1930

•

•

1940

•

•

1950

•

•

1960

•

•

1970

•

•

1980

•

•

1990

•

•

2000

•

•

•

•

•

•

1940

1940 gründete **Max Delbrück** die „Pagengruppe“, in der sich die bedeutendsten Biologen jener Zeit in einer lockeren Verbindung vereinten. Diese Gruppe trieb die Entwicklung der Molekularbiologie als einen neuen Wissenschaftszweig voran.

1944

1944 entdecken **Oswald Theodore Avery** und seine Kollegen anhand der Transformation von Pneumococccen, dass die DNA und nicht die komplexen Proteine als Träger der Erbinformationen fungieren.
Im gleichen Jahr veröffentlichte **Erwin Schrödinger** sein Buch „What is Life“ (Was ist Leben). In dem er die Frage nach der Natur des Lebens selbst aus der physikalischen Sicht anging.

1950

Erwin Chargaff fand heraus, dass die Zusammensetzung von DNA anteilig von Art zu Art variiert, vor allem in der relativen Menge der Basen Adenin, Cytosin, Guanin und Thymin. Außerdem fand er heraus, dass die vorhandene Menge der Base Adenin derjenigen der Base Thymin entsprach, ebenso wie die Menge der Base Cytosin der Menge an Guanin entsprach. Diese Basen liegen also paarförmig vor. Die von Chargaff aufgestellten Basenpaarungsregeln bilden auch heute noch die Grundlage für die Manipulation der DNA.

Durch Bestrahlung der DNA mit Röntgenstrahlen fand **Rosalind Franklin** heraus, dass das Molekül in Form einer Helix vorliegt, die aus zwei oder drei Ketten zusammengesetzt ist. Auf diesen Strukturvorschlag hin bauten später **James D. Watson** und **Francis H. C. Crick** ihr räumliches Doppelhelixmodell auf.

1953

Fanden **James D. Watson** und **Francis H. C. Crick** heraus, dass z. B. die Base Adenin mit Thymin zusammenpasst, gleichzeitig aber Cytosin abstösst, welches sich wiederum mit Guanin zusammenschließt. Die Verbindungen zwischen den Basen wird durch Wasserstoffbrücken realisiert, die zwischen dem Wasserstoff eines Moleküls und einem Nichtwasserstoff eines anderen Moleküls stattfindet. Aufgrund ihrer Erkenntnisse und die Vorarbeiten von z.B. **Rosalind Franklin** entstand das räumliche Modell einer Doppelhelix-Struktur der DNA.

1956

Joe Han Tijo und **Albert Levan** ermittelten die Zahl der menschlichen Chromosomen. Es sind 46 (23 Paare).

1850

•

•

1860

•

•

1900

•

•

1910

•

•

1920

•

•

1930

•

•

1940

•

•

1950

•

•

1960

•

•

1970

•

•

1980

•

•

1990

•

•

2000

•

•

•

•

•

•

•

1961

Francis Crick entdeckt das Botenmoleküle (mRNA), welche nötig sind, um die Information der DNA aus dem Zellkern ins Zytoplasma zu transportieren, wo die Proteine gebildet werden.

Marshall Nierenberg synthetisiert einen mRNA-Strang, der nur aus der Base Uracil aufgebaut ist. Er entdeckt, dass diese Sequenz die Aminosäure Phenylalanin definiert. Seine Entdeckung ist der erste Schritt, um den „genetischen Code“ aufzuklären.

1962

Die so genannte Zytogenetik wird begründet. Zuvor werden Zusammenhänge zwischen Chromosomenveränderungen und Krankheiten wie Trisomie 21 entdeckt.

Der Schweizer Molekularbiologe **Werner Aber** findet Enzyme, welche die Erbsubstanz an bestimmten Stellen schneiden können. Diese als *Restriktionsenzyme* bezeichneten Substanzen erweisen sich bald als unentbehrliche Werkzeuge für die Gentechnik, insbesondere die rekombinante DANN-Technologie (Neukombination von Genen).

1965

Auf Grundlage der Arbeiten von Marshall Nierenberg gelingt es **Heinrich Mathai** und **Severo Ochoa**, den Zusammenhang zwischen Genen und Proteinbildung (den so genannten genetischen Code) aufzuklären: Drei DNA-Bausteine definieren jede der 20 Aminosäuren. In der Folgezeit wird eine Reihe von neuen Analyseverfahren entwickelt.

1966

John Gurdon kloniert Kaulquappen aus Darmzellen erwachsener Krallenfrösche.

1967

Es werden in verschiedenen Laboratorien die Ligasen, die „Kleber“ für die Erbsubstanz, isoliert.

1850

•

•

1860

•

•

1900

•

•

1910

•

•

1920

•

•

1930

•

•

1940

•

•

1950

•

•

1960

•

•

1970

•

•

1980

•

•

1990

•

•

2000

•

•

•

•

•

•

1970

Howard Temin und **David Baltimore** entdecken die unterschiedliche Studien in Retrovierend das Enzym Reverse Transkriptase, die dessen Hilfe Viren ihre Erbinformationen umschreiben können, um sie in die Wirts-DNA einzubauen.

Peter Duesberg und **Peter Vogt** entdecken das erste Krebsgen in einem Virus.

Trobjorn Caspersson und andere schwedische Wissenschaftler stellen eine Methode vor, Chromosomen derart zu färben, dass sie das heute bekannte Banden-Muster zeigen.

1971

Herbert Boyer und **Stanley Cohen** legen den Grundstein für alle heutigen genetischen Arbeiten: Sie erzeugen mit Bergs Technik ein neu kombiniertes DNA-Molekül aus viraler und bakterieller DNA und brachten es in Bakterien ein. Beunruhigt über die möglichen Risiken dieser Verfahren trafen die Wissenschaftler daraufhin umfangreiche Sicherheitsvorkehrungen bei der Neukombination von Erbmaterial und erwirken u.a. durch die Asimolar-Konferenz 1975 den Erlass staatlicher Regelungen in den USA

1972

Paul Berg gelingt es mittels eines aus Bakterien isolierten Restriktionsenzym DNA zu zerschneiden und mit einer „DNA-Ligase“ wieder zu verbinden.

1973

Forscher produzieren ein genetisch verändertes Bakterium.

In Stanford transferieren **Stanley Cohen**, **Annie Chang** und **Herbert Boyer** in einem historischen Experiment zum ersten Mal DNA von einem Organismus in einen anderen: sie vereinen virale und bakterielle DNA und kreieren ein Plasmid mit zwei Antibiotika-Resistenzen. Anschließend integrieren sie das Plasmid in die DNA des Darmbakteriums *Escherichia coli* und schaffen so den ersten rekombinanten Organismus.

Der Biochemiker **Bruce Ames** entwickelt einen Test, der Chemikalien identifiziert, welche DNA angreifen. Dieser „Ames-Test“ wird im Anschluss zur Feststellung Krebs erregender Stoffe eingesetzt.

1850

•

•

1860

•

•

1900

•

•

1910

•

•

1920

•

•

1930

•

•

1940

•

•

1950

•

•

1960

•

•

1970

•

•

1980

•

•

1990

•

•

2000

•

•

•

•

•

•

1974

Gene von Insekten und Wirbeltieren werden zum ersten Mal in Bakterienkulturen vermehrt.

Die Möglichkeit, DNA-Abschnitte *verschiedener Herkunft* miteinander zu verbinden, wird entdeckt.

Paul Berg und zehn weitere Wissenschaftler rufen zu einem weltweiten Moratorium für bestimmte molekularbiologische Arbeiten auf, bis Richtlinien für den Umgang mit dem neuen Wissen erstellt sind.

1975

Asimolar-Konferenz: **Herbert Boyer** und **Stanley Cohen** erwirken „den Erlass staatlicher Regelungen in den USA für einen sicheren Umgang mit der Gentechnik, die als Vorbild für spätere, europäische Regelungen und das heute gültige deutsche Gentechnikgesetz dienen.“

Auf der Konferenz von Asilomar in Kalifornien wird über internationale Sicherheitsrichtlinien für Arbeiten in der Gentechnik beraten. 140 führende Wissenschaftler fordern ein Moratorium für gentechnische Experimente und drängen ihre Regierungen, Richtlinien für die Forschung zu erlassen.

Die National Institutes of Health (NIH) in den USA gründen das "Recombinant DNA Advisory Committee" (RAC) zur Erstellung von Richtlinien für Arbeiten in der Gentechnik. Die ersten Regeln werden 1976 implementiert. Sie dienen später auch als Vorlage für das bundesdeutsche "Gentechnikgesetz" (GenTG).

Georges Köhler und **Cesar Milstein** veröffentlichen die Ergebnisse ihrer Forschungen zur Herstellung von "monoklonalen Antikörpern" - einem wichtigen Werkzeug in der Molekular- und Zellbiologie.

1976

Die Virologen J. Michael Bishop und Harold Varmus weisen Krebsgene auf den Chromosomen von Tieren nach und zeigen, dass bestimmte Variationen ihrer Anordnung zu Krebswucherungen führen können.

In San Francisco wird von Herbert Boyer und Robert Swanson die erste Gentech-Firma der Welt gegründet: Genentech Inc.

1977

Erstmals gelingt die Klonierung eines menschlichen Gens und die gentechnische Herstellung eines menschlichen Proteins in einem Bakterium: nämlich des Hormons Somatostatin, das u.a. die Ausschüttung von Insulin hemmt. Das Biotech-Unternehmen Genentech zeichnet sich verantwortlich für diesen wissenschaftlichen Durchbruch, der als Einstieg ins Zeitalter der Biotechnologie kommentiert wird.

Walter Gilbert, **Allan Maxam** und **Frederick Sanger** entwickeln eine leistungsfähige Methode zur DNA-Sequenzierung auf Basis von Chemikalien statt Enzymen. Sie erhalten 1980 den Nobelpreis.

1850

•

•

1860

•

•

1900

•

•

1910

•

•

1920

•

•

1930

•

•

1940

•

•

1950

•

•

1960

•

•

1970

•

•

1980

•

•

1990

•

•

2000

•

•

•

•

•

•

1978

Goodman, Rutter Gilbert u.a. gelingt die Synthese von Ratten-Insulin in Bakterien.

Louise Joy Brown kommt am 25. Juli als erstes "Retortenbaby" in England zur Welt. Die Befruchtung der Eizelle in einem Reagenzglas wird als In-vitro-Fertilisation (IVF) bezeichnet.

Die US-Richtlinien für Arbeiten in der Gentechnik werden gelockert. Folglich darf auch DNA aus Viren neu kombiniert werden.

Erstmals wird ein gentechnisch veränderter Organismus patentiert. Es handelt sich um ein Bakterium, das in der Lage ist, Öl zu absorbieren. Die Patentierung des Unternehmens Exxon Oil wird angefochten, aber zwei Jahre später vom Supreme Court in den USA bestätigt.

In Deutschland werden "Richtlinien zum Schutz vor Gefahren durch in-vitro neukombinierte Nukleinsäuren" (Genrichtlinien) eingeführt. 1990 werden die Richtlinien durch das Gentechnikgesetz abgelöst.

Dem Biotech-Unternehmen Genentech gelingt die erfolgreiche gentechnische Herstellung von Humaninsulin im Labor.

1979

Ab 1979 Neue Erkenntnisse in der Tumorgenetik (Bishop, Weinberg, Wigler, Barbacid u.a.)

John Baxter berichtet vom ersten erfolgreichen Klonen eines menschlichen Wachstumshormons.

1850

•

•

1860

•

•

1900

•

•

1910

•

•

1920

•

•

1930

•

•

1940

•

•

1950

•

•

1960

•

•

1970

•

•

1980

•

•

1990

•

•

2000

•

•

•

•

•

•

1980

Jeff Schell entdeckt das *Agrobacterium tumefaciens* als Vektor, um Gene über Artgrenzen hinweg in Pflanzen einzuschleusen. In der „Grünen Gentechnik“ ist das Bodenbakterium bis heute der am häufigsten benutzte Vektor.

1981

Der entscheidende Durchbruch für die Stammzelltechnologie gelingt: englische und amerikanische Embryologen trennen bei embryonalen Stammzellen den Prozess der Vermehrung von der Differenzierung.

Die erste durch Embryonenteilung geklonte Kuh und die erste ebensolche Maus kommen zur Welt. Die Maus trägt das Gen für ein Wachstumshormon der Ratte in ihren Zellen und erreicht eine stattliche Größe.

Die Hoechst AG gibt dem Massachusetts General Hospital 70 Millionen Dollar, um eine molekularbiologische Abteilung aufzubauen. Im Gegenzug erwartet die Firma die exklusiven Rechte für alle Patente.

1982

Das erste gentechnisch hergestellte (rekombinante) Medikament kommt in den USA auf den Markt. Es handelt sich um Insulin für Zuckerkrankte, das von einem transgenen Bakterium gewonnen wird.

Methoden zur Genübertragung in tierischen Organismen mit Hilfe von Retroviren (Palmiter, Brinster u.a.), seitdem zahlreiche neue Entdeckungen.

1983

Erstmals werden in den USA Patente für transgene Pflanzen vergeben, denen fremde Gene eingeschleust wurden.

Die aus 48.502 Nukleotiden bestehende DNA-Sequenz des Bakteriophagen Lambda wird veröffentlicht.

Ein Gentest für Chorea Huntington ("Veitstanz") wird entwickelt.

Marvin Carruthers entwickelt an der Colorado-Universität eine Methode, um DNA-Fragmente von fünf bis 75 Bausteinen Länge zusammenzusetzen.

Kary Mullis entwickelt ein Verfahren, um mit Hilfe der "Polymerase-Kettenreaktion" (Polymerase Chain Reaction, PCR), DNA zu vervielfältigen. Damit wird die Molekularbiologie revolutioniert. 1993 erhält Mullis für seine Entdeckung den Nobelpreis.

1850

•

•

1860

•

•

1900

•

•

1910

•

•

1920

•

•

1930

•

•

1940

•

•

1950

•

•

1960

•

•

1970

•

•

1980

•

•

1990

•

•

2000

•

•

•

•

•

•

1984

Das Genom des Human-Immundefizienz-Virus (HIV), das für Aids verantwortlich ist, wird entschlüsselt.

Die Ethik-Kommission der Universität San Diego erteilt erstmalig die Erlaubnis zur Durchführung einer somatischen Gentherapie beim Menschen. Die zuständigen US-Behörden lehnen das Projekt jedoch ab.

Der Brite **Alec Jeffreys** entwickelt die Technik des genetischen Fingerabdrucks (Fingerprint).

Der dänische Wissenschaftler **Steen Willadsen** von der Universität Cambridge in England kloniert Schafe aus frühen Embryo-Zellen. Er mixt auch Zellen verschiedener Arten und schafft die "Schiege" aus Schaf und Ziege.

1985

In den USA beginnen erste Freilandversuche mit insekten-, bakterien- und virusresistenten transgenen Pflanzen.

Die NIH geben Richtlinien für Experimente zur Gentherapie an Menschen bekannt.

Karry Mullis erfindet die Polymerase-Ketten-Reaktion (PCR) Mit der PCR ist es möglich, kleinste Mengen genetischen Materials so weit zu vervielfältigen, bis es mit den herkömmlichen Methoden analysierbar ist.

In den USA gibt es bereits 400 Biotech-Unternehmen

1986

Durch Trennung embryonaler Rinderzellen in einem sehr frühen Stadium erhält **Neal First** von der Universität von Wisconsin genetisch identische Mehrlinge (Klone). Das Kopieren (Klonen) erwachsener Tiere gelingt erst 11 Jahre später **Ian Wilmut**, der Dolly klonet.

1988

Das erste Patent für ein gentechnisch verändertes Säugetier wird **Philip Leder und Timothy Stewart** von der Harvard Universität erteilt. Es bezieht sich auf eine transgene Maus, die als Modellorganismus für die Untersuchung von Tumorkrankheiten dient.

19.12.1988: Bericht Rothley (Ausschuss für Recht und Bürgerrechte) zu den ethischen und rechtlichen Problemen der Genmanipulation (A2-0327/88, EP)

1850

•

•

1860

•

•

1900

•

•

1910

•

•

1920

•

•

1930

•

•

1940

•

•

1950

•

•

1960

•

•

1970

•

•

1980

•

•

1990

•

•

2000

•

•

•

•

•

•

1989

30.01.1989 Bericht Hearlin (Ausschuss für Energie, Forschung und Technologie) über die prädiktive Medizin: Analyse des menschlichen Genoms (A2-0370/88, EP)

30.01.1989 Bericht Casini (Ausschuss für Recht und Bürgerrechte) über die künstliche „in vivo“ – und „in vitro“ – Befruchtung (A2-0372/88, EP)

Die Übertragung fremder Gene in menschliche Körperzellen mittels Viren ist in den USA erstmals gelungen. Dies ist kein Eingriff in die Keimbahn. Es handelt sich auch nur um ein Marker-Gen ohne therapeutischen Zweck.

1990

Offizieller Start des internationalen HumanGenomProjekts

French Anderson unternimmt die erste Gentherapie beim Menschen.

Deutsches Gesetz zur Regelung der Gentechnik (Gentechnik-Gesetz, GenTG) wird am 28.03.1990 verabschiedet (Am 11.05.1990 stimmt der Bundesrat zu). Am 01.07.1990 tritt das Gesetz in Kraft.

1993

Das deutsche Gesetz zur Regelung der Gentechnik ("Gentechnik-Gesetz, GenTG") aus dem Jahr 1990 wird novelliert. Einige Vorschriften darin werden entschärft.

1994

In den USA kommen gentechnisch veränderte Tomaten auf den Markt.

In Großbritannien ist Tomatenmark aus transgenen Tomaten in den Supermärkten erhältlich.

Der Kölner Professor **Klaus Rajewsky** schaltet gezielt einzelne Gene nur in bestimmten Zellen von Mäusen ab.

1995

In Deutschland startet der BioRegio-Wettbewerb. 17 Regionen nehmen daran teil. Die drei Gewinner-Regionen erhalten jeweils 50 Mio.DM Fördermittel des Bundes.

Das Institute for Genomic Research (TIGR) veröffentlicht die erste komplette Genomsequenz eines Bakteriums (*Haemophilus influenzae*)

In den USA schlagen Gentherapien zur Behandlung von zwei schweren Erkrankungen, Mukoviszidose und Muskelatrophie, fehl. In Tierversuchen waren die Verfahren zuvor viel versprechend verlaufen.

1850

•

•

1860

•

•

1900

•

•

1910

•

•

1920

•

•

1930

•

•

1940

•

•

1950

•

•

1960

•

•

1970

•

•

1980

•

•

1990

•

•

2000

•

•

•

•

•

•

1996

Ein internationales Gemeinschaftsprojekt schließt die Sequenzierung des ersten Genoms eines höheren Organismus, das der Bierhefe *Saccharomyces cerevisiae*, ab.

Ein kalifornisches Labor stellt einen Gen-Chip mit den Sequenzen von 6116 Hefegenen vor.

In den USA werden auf großen Flächen transgene Nutzpflanzen angebaut

1997

Ian Wilmut gelingt das Klonen eines erwachsenen Tieres: Dolly. 2001 werden Vermutungen laut, dass ein solches geklontes Tier ein biologisches Alter hat, das sich aus der Summe seines eigenen Alters und des Alters seines Ahns zum Zeitpunkt der Klonierung zusammensetzt.

1998

Zwei Forscherteams berichten, dass sie embryonale Stammzellen zur Differenzierung in spezialisierte Gewebezellen anregen können.

Das Genom des ersten Vielzellers, des Rundwurms *Caenorhabditis elegans*, ist durchsequenziert.

1999

Pluripotente Stammzellen aus Geweben können in andere Zelltypen umprogrammiert werden

Die Sequenz des Chromosoms 22 wird veröffentlicht

Das Biotechunternehmen Celera startet ein eigenes Humangenomsequenzierungsprogramm

Im September stirbt der 18-jährige Jesse Gelsinger aus Arizona nach einer Gentherapie. Er gilt als das erste Todesopfer dieses Verfahrens. Allerdings erhielt auch er die neuen Gene nur in bestimmte Körperzellen.

1850

•

•

1860

•

•

1900

•

•

1910

•

•

1920

•

•

1930

•

•

1940

•

•

1950

•

•

1960

•

•

1970

•

•

1980

•

•

1990

•

•

2000

•

•

•

•

•

•

2000

Auf beiden Seiten des Atlantiks gibt es jeweils rund 1300 Biotechunternehmen. Davon sind fast 400 börsennotiert.

Das Genom der Fruchtfliege *Drosophila melanogaster* ist entschlüsselt. Sie war durch den Pionier Thomas H. Morgan zum "Haustier der Genetik" geworden

Die Human Genome Organization und das Unternehmen Celera stellen die erste Arbeitsversion des Humangenoms vor..

Am 06.04.2000 geht Craig Venter an die Öffentlichkeit und verkündet, sein Team habe 99 Prozent des menschlichen Erbguts entschlüsselt. Allerdings müssten die Bausteine noch geordnet werden.

Am 07.12. 2000 wird die „Charta der Grundrechte“ auf dem Europäischen Gipfel von Nizza verkündet. In Artikel 3 von Kapitel 1 über die Würde des Menschen wird das reproduktive Klonen von Menschen verboten.

Am 17.12.2000 stimmen die Mitglieder des britischen Unterhauses dafür, dass Wissenschaftler spezielle Stammzellen für Embryonen im Frühstadium gewinnen dürfen, um Haut- und Organgewebe für Forschungszwecke zu züchten. Damit wird eine Änderung am Human Fertilisation and Embryology Act aus dem Jahr 1990 gebilligt, wodurch zwei Wochen alte Embryonen, die bei der IVF-Behandlung nicht verwendet wurden, ausschließlich für Forschungsarbeiten über Unfruchtbarkeit genutzt werden dürfen

2001

US-Forscher stellen am 11.01.2001 den ersten Affen vor, dessen Keimbahn gentechnisch verändert ist. Er kann somit das Gen für einen Fluoreszenzfarbstoff voraussichtlich an seine Nachkommen weitergeben.

Die Mitglieder des britischen Oberhauses billigen am 22.01.2001 Pläne der Regierung, das Klonen von menschlichen Embryonen für Forschungszwecke zuzulassen. Sie beschließen außerdem, dass ein nichtständiger Ausschuss die Auswirkungen dieser Entscheidung untersuchen sollte.

3 Fazit

Wie schon erwähnt – unsere Auflistung ist keinesfalls vollständig. Aber sie gibt doch einen groben Überblick für den Laien, der sich erstmals oder zum ersten Mal eingehender mit der Thematik Gentechnologie beschäftigt.

Vielerlei Ereignisse spielen bei der Entwicklung dieser noch recht neuen Wissenschaft eine Rolle: Die Bereiche Politik, Ethik, Wirtschaft, Technik grenzen dies gut ein. Vor allem aber die Forschung und die Akzeptanz in der Gesellschaft sind wohl von großer Bedeutung.

Immer wieder lenken durchbrechende Entdeckungen oder Erfindungen die Forschung in neue Richtungen.

So schreibt beispielsweise das Novo-Magazin zum Klonen eines menschlichen Gens:

„Als es 1977 erstmals gelang, ein menschliches Gen zu klonen, es in ein Bakterium einzuschleusen und damit ein für den Menschen nützliches Protein herzustellen, wurde der Eintritt ins Zeitalter der Biotechnologie besiegelt.“

Diese Erkenntnis ließe sich an manch anderer Stelle ebenfalls treffen: „Neue Zeitalter“ in der Forschung sind ein entscheidender Motor derselben. Allerdings entsteht dadurch oft der Zwang, dass dieses Neue Zeitalter (mit neuen Methoden und Möglichkeiten) durch Politik und Gesellschaft akzeptiert werden muss. Und vor allem in der Gentechnologie, wo es um existentielle Werte von Leben geht, rufen diese Paradigmenwechsel tief greifende Kontroversen hervor.

4 Anhang

Literatur und Internetquellen

Berliner Morgenpost Online [2000]: Meilensteine in der Wissenschaft.
<http://morgenpost.berlin1.de/archiv2000/001224/wissenschaft/story377827.html>
(Datum des letzten Zugriffs: 29.01.2002)

Bundesministerium für Bildung und Forschung [2001]: Perspektiven moderner Biotechnologie und Gentechnik.
<http://www.science-live.de>
(Datum des letzten Zugriffs: 29.01.2002)

Europäisches Parlament [2001]: Arbeitsdokument über die sozialen, rechtlichen, ethischen und wirtschaftlichen Auswirkungen der Humangenetik
<http://www.europarl.eu.int/meetdocs/committees/gene/20010618/440768DE.pdf>
(Datum des letzten Zugriffs: 29.01.2002)

Faust-Gymnasium Staufen [2001]: Dolly und die Folgen – Seminarkurs 2000/2001.
http://www.faust.fr.bw.schule.de/semkurs/fuenfgeld/af_arb.htm
(Datum des letzten Zugriffs: 29.01.2002)

InformationsSekretariat Biotechnologie: Eine kurze Geschichte der Biotechnologie.
<http://www.bioinformation.de/timeline/timeline.htm>
(Datum des letzten Zugriffs: 29.01.2002)

Novo-Magazin [2001]: Chronik der Biowissenschaften.
http://www.novo-magazin.de/lifescience/4_lifescience_zeittafel.htm
(Datum des letzten Zugriffs: 29.01.2002)

Weiterführende Quellen:

Gonick, Larry, Wheelis, Mark [1989]: Genetik in Cartoons. Parey Buchvlg., 5. Aufl., Berlin.

Neuer-Miebach, Therese (Hg.), Wunder, Michael [1998]: Bio-Ethik und die Zukunft der Medizin. Psychatrie-Verlag, Bonn.

Sprügel, Guido [1999]: Bioethik-Konvention und der Zugriff der Forschung auf den Menschen. Pahl-Rugenstein-Verlag, Bonn.

Yahoo! Finanzen [2001]: Kolumne: Geschichte wiederholt sich - auch in der Biotechnologie?
<http://de.biz.yahoo.com/010904/57/1xavf.html>
(Datum des letzten Zugriffs: 29.01.2002)