



Heiner Fangerau

2. Zur Geschichte der Gentechnologie : eine historische Vermessung

In: Hucho, Ferdinand u. a. (Hrsg.): Vierter Gentechnologiebericht : Bilanzierung einer Hochtechnologie. – 978-3-8487-5183-9
Baden-Baden: Nomos, 2018. S. 71-87
(Forschungsberichte / Interdisziplinäre Arbeitsgruppen, Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften ; 40)

Persistent Identifier: [urn:nbn:de:kobv:b4-opus4-30949](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:kobv:b4-opus4-30949)

Die vorliegende Datei wird Ihnen von der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften unter einer Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivateWorks 4.0 International (cc by-nc-nd 4.0) Licence zur Verfügung gestellt.



2. Zur Geschichte der Gentechnologie: Eine historische Vermessung

2.1 Züchtung und „technische Biologie“

Die Anfänge der Gentechnologie sind nicht leicht zu bestimmen. Fasst man unter einen allgemeinen Begriff der Biotechnik, der die Gentechnik einschließt, bereits die menschliche Arbeit an der Natur und die züchterische generationenübergreifende Modifikation von Pflanzen und Tieren, reicht das theoretische und praktische Wissen um gentechnologische Verfahren bis weit vor die Phase einer akademischen Beschäftigung mit Erblichkeitsfragen zurück. Auch die Nutzung und Züchtung von Lebensformen wie Hefepilzen zur gezielten technischen Erzeugung von beispielsweise Alkohol wird gelegentlich in historischen Rückblicken als Referenzpunkt einer frühen Bio- und Gentechnik genannt (Buchholz/Collins, 2013). Um 1900 wurde ein solcher wirtschaftlicher Einsatz von Lebendigem allerdings noch als „technische Biologie“ bezeichnet – insbesondere, weil zum einen der Genbegriff noch nicht geprägt war und zum anderen eine gezielte, über Züchtung hinausgehende technische Beeinflussung von Lebensprozessen als Zweck der biologischen Wissenschaften zwar angedacht, aber noch nicht realisiert worden war.¹

Die epistemischen (erkenntnistheoretischen) und praktischen Vorbilder für die Biologen waren um die Wende vom 19. ins 20. Jahrhundert die organische Chemie, die Physik und die Ingenieurwissenschaften. Mit Bezug auf Friedrich Wöhlers (1800–1882) gelungene Harnstoffsynthese im Jahre 1828 wollten nun auch Biologen Lebensvorgänge nicht mehr nur beschreiben und Lebewesen mit morphologisch fokussiertem Blick zergliedern. Vielmehr wollten sie ihre kleinsten Einzelteile ergründen und mit diesen Bausteinen Leben gezielt beeinflussen, modifizieren und konstruieren. Sehr deutlich brachte diese gestalterische Perspektive in die Biologie beispielsweise der amerikanische Physiologe Jacques Loeb (1859–1924) ein, der etwa konkret in einem Brief an den Physiker und Philosophen Ernst Mach (1838–1916) den Begriff der „konstruktive[n] oder

1 Für eine ausführliche Darstellung siehe Bud, 1993.

technische[n] Biologie“ bemühte, um zu verdeutlichen, dass es Ziel der Biologie werden müsse, synthetisch tätig werden zu können (Fangerau, 2012: 66; Fangerau, 2010). Der Begründer der Entwicklungsmechanik, der Biologe Wilhelm Roux (1850–1924), wiederum zog während eines Grußworts zum Verhältnis von „Biologie und Technik“ auf dem 50. Stiftungsfest des Thüringer Bezirksvereins des Vereins Deutscher Ingenieure (VDI) 1911 nicht nur deutliche Parallelen zwischen Ingenieurwissenschaft und Biologie, vielmehr betonte er die gegenseitige Fruchtbarmachung der jeweiligen Ansätze. So nutzten die Biologen unter anderem die Festigkeits- und Elastizitätslehre der Ingenieure, um etwa Knochenaufbauten zu beschreiben, andersherum böten ihre biologischen Analysen Modelle für technische Entwicklungen, wenn diese optimale, im lebenden Körper gefundene Strukturen nachahmten (z. B. diene der Blutkreislauf als Modell für die Entwicklung von Rohrsystemen) (Roux, 1911).

2.2 Heutiges Bio- und Gentechnikverständnis

Diese Ansätze schufen nicht nur die Grundlage für das Verständnis der heutigen Biotechnik, sondern auch für das der Biomedizin, die im Wesentlichen auf drei erkenntnisleitenden Säulen fußt. Neben dem Versuch, in einem radikalen Reduktionismus physiologische Prozesse auf kleinste Einheiten zu reduzieren, steht die Idee des Universalismus, die davon ausgeht, dass zum Beispiel bis auf Molekülebene reduzierte Lebensvorgänge für alle belebten Wesen gelten müssten. Dies wiederum erlaubt die Modellierung solcher Prozesse (Scheffler/Strasser, 2015; Strasser, 2014). Das bedeutet, dass zum Beispiel Bakterienmodelle dazu dienen sollen, Vorgänge in Primaten zu begreifen.

In ihrer grundlegenden Bedeutung bilden diese Prämissen eine epistemische Basis weit über die Biomedizin hinaus. Sie gelten auch für die (heutige) grüne und rote Gentechnologie, die ihrerseits Spezialfälle der Biotechnologie darstellen. Auch wenn die Begriffe „Technik“ und „Technologie“ im allgemeinen Sprachgebrauch oft synonym erscheinen, so haben sie doch eigentlich eine leicht unterschiedliche Bedeutung. Mit „Technik“ wird die konkrete Umsetzung gemeint, mit „Technologie“ eher die Wissenschaft von der Technik. Der Terminus „Gentechnologie“ umschreibt dabei zum Beispiel in der Politikberatung die „gezielte Neukombination des genetischen Materials von Lebewesen“ (Enquete-Kommission, 1987: III) nicht nur durch Züchtung, sondern auf der molekularen Ebene durch die Arbeit im Labor. Die konkrete Anwendung dieser Idee mit ihrer Labormethodik entspräche dann der Gentechnik. Damit unterscheidet der Begriff der 1980er Jahre sich von einem älteren, auch auf die Vererbung und Züchtung zielenden Biotechnologiebegriff, wie ihn etwa Rudolf Goldscheid (1870–1931) zur Beschreibung der Verbesserung des Menschen durch eine Kombination aus Sozialhygiene und Eugenik ge-

prägt hatte. Goldscheid hatte eher eine auf die Gesellschaft im Ganzen wirkende Sozio-technik im Sinn als den Einsatz von gezielter Labortechnik (Bud, 1991: 426). Zur Ausprägung des Gentechnologiebegriffs im engeren heutigen Verständnis bedurfte es erstens eines bestimmten Genbegriffs, zweitens der Rückführung der Gene auf ihre chemische Struktur und drittens der Möglichkeit, diese Struktur gezielt zu modifizieren.²

Das ursprünglich von Wilhelm Johannsen (1857–1927) in die Debatte eingebrachte Konzept des Gens sollte beobachtbare Erbinheiten noch relativ undefiniert und nicht auf eine materielle Grundlage bezogen beschreiben. Mit der Identifikation der Desoxyribonukleinsäure (DNS) als Trägersubstanz von transgenerationellen Vererbungsvorgängen, der Beschreibung der Struktur der DNS durch James Watson und Francis Crick und dem Wissen um den in Nukleotidsequenzen abgelegten Code zur Zuordnung von Aminosäuren wurde der Begriff des Gens auf eine neue Grundlage gestellt. Er bezeichnete nun Abschnitte der DNS, die bestimmte Erbinformationen trugen. Molekulargenetische Erkenntnisse seit den 1970er Jahren zum Beispiel zur Regulation und Ordnung der Gene haben dieses Verständnis erneut justiert, sodass der Begriff nun wieder offener DNS-Segmente beschrieb, die gemeinsam die Transkription und Expression von Erbinheiten regulieren (Portin, 2000: 37; siehe auch Carlson, 1991).

2.3 Gentechnologie seit den 1970er Jahren

Gerade auch gentechnologische methodische Entwicklungen und Verfahren haben dazu beigetragen, das alte Verständnis des Gens als geschlossene Einheit zu hinterfragen. Gleichzeitig ermöglichten es diese Verfahren, Gentechnologie im engeren Sinne hervorzubringen. Unter Rückgriff auf die Idee, gezielt wie ein Ingenieur Leben steuern zu können, versuchten Wissenschaftler/-innen die DNS zu verändern, zu zerschneiden, wieder zusammenzufügen und auf diese Weise genetisch veränderte Lebewesen hervorzubringen. Die erste wirklich als Gentechnologie im engsten Sinne zu verstehende technische Manipulation einer DNS *in vitro* gelang in den frühen 1970er Jahren. Nachdem 1967 ein Enzym isoliert worden war, das in der Lage ist, DNS-Abschnitte miteinander zu verbinden (DNS-Ligase), konnten im Jahr 1970 Enzyme isoliert werden, mit deren Hilfe wiederum DNS-Stränge an definierten Stellen durchtrennt werden können (Restriktionsenzyme) (Nicholl, 2008: 6 f.). Die nun zur Verfügung stehenden Möglichkeiten, DNS zu zerschneiden und wieder zusammenzufügen, nutzten David Jackson, Robert Symons und Paul Berg, als sie DNS zweier unterschiedlicher Virenstämme neu

² Zur Entwicklung des Genbegriffs bis zum „postgenomischen Zeitalter“ siehe ausführlich Müller-Wille/Rheinberger, 2009.

kombinierten („rekombinierten“). Kurz davor hatten bereits Peter Lobban und A. Dale Kaiser mithilfe einer leicht verschiedenen Methodik DNS-Moleküle eines Virus zusammengefügt (Wright, 1986: 311 f.). Den nächsten Schritt auf dem Weg zur Gentechnologie im engeren Sinne leistete eine Gruppe um Herbert Boyer, Stanley Cohen, Robert Helling und Annie Chang, der es 1973 über mehrere Stufen gelang, fremde DNS in ein Bakterium (*Escherichia coli*) einzuschleusen und diese dort replizieren und transkribieren zu lassen (Wright, 1986: 312–314). Schon ein Jahr später konnten Rudolf Jaenisch und Beatrice Mintz mithilfe eines Virus fremde DNS in Mäuseblastozysten einschleusen. Da bei diesem Verfahren das Virus intakt blieb, stellt es eine Mischform zwischen transgener Veränderung und Infektion dar (Wells, 2016: 289). 1980 gelang es Jon W. Gordon und Frank H. Ruddle dann aber direkt DNS in Pronuklei (Vorkerne) von Mäusen zu injizieren und auf diese Weise nach Embryotransfer Nachwuchs zu erzeugen, der die veränderten Gene stabil (zunächst noch mit Mosaikbildungen³) weitertrug.⁴ 1985 konnte diese Technik auch auf andere Säugetiere übertragen werden (Wells, 2016: 290).

Das Potenzial der Rekombination von DNS-Abschnitten schien den meisten Akteuren und Akteurinnen sofort klar gewesen zu sein. Bereits Ende der 1970er Jahre sind zwei scheinbar gegenläufige oder zumindest nur in Teilen kommensurable Trends zu beobachten. Während gesellschaftlich und politisch vor den Risiken der Anwendung von Genveränderungen beim Menschen gewarnt wurde, erlebte die neue Gentechnik im wissenschaftlichen Bereich und im Feld ihrer potentiellen wirtschaftlichen Verwertung eine bis heute andauernde Konjunktur. Diese Konjunktur ist in ihrer ersten Phase auch damit zu erklären, dass eine Reihe anderer Biotechnologien (z. B. Enzymproduktion, Antibiotikaproduktion) zu dieser Zeit ebenfalls in erfolgreiche Anwendungen überführt wurden und einen Sog auch auf die Gentechnik ausübten. Die Risikobetrachtung wiederum umfasste nicht nur biologische Gefahrenpotenziale, sondern erstreckte sich mit Blick auf die internationale Geschichte der Eugenik sowie die mit ihr assoziierten Zwangsmaßnahmen auch auf sozialetische Bereiche.

Schon vor der Beschreibung der Rekombination der DNS hatte der US-amerikanische Genetiker Joshua Lederberg (1925–2008) im Jahr 1963 mit der Autorität eines Nobelpreisträgers die Idee propagiert, dass die biochemische Genetik nicht mehr wie die Eugenik der 1920er und 1930er Jahre auf die Veränderung der Keimbahn zielen, sondern pathologische Phänotypen mittels somatischer Gentherapie adressieren sollte (Bud, 1993: 168–171). Auf diese und andere Diskussionen um sozialetische, umweltethische, medizinische und technische Risiken der Gentechnologie in all ihren Facetten

3 D. h. die genetische Veränderung war nicht in allen Zellen vorhanden.

4 Vgl. hierzu ausführlich Jones, 2011.

wollten direkt nach ihren erfolgreichen Experimenten zur Rekombination von DNS-Abschnitten auch Berg und andere Genetiker eingehen, als sie zum Beispiel 1973 auf zwei Konferenzen in Asilomar und New Hampton mögliche biologische Risiken der rekombinanten Gentechnik diskutierten. Im Anschluss an diese Konferenzen wollten sie den eigenen und öffentlichen Sorgen vor riskanten Folgen der Technik sowie dem Argwohn über einen möglichen Missbrauch der neuen Technologien proaktiv mit einem Moratorium begegnen, das sie 1974 nach einer von der US-amerikanischen National Academy of Science organisierten weiteren Konferenz am Massachusetts Institute of Technology in offenen Briefen an die Zeitschriften *Science* und *Nature* der Fachwelt vorschlugen (Gisler/Kurath, 2011: 214 f.). Sie fürchteten auch ein politisches Verbot weiterer Forschung, wenn es nicht gelänge, diese durch die Wissenschaft selbst zu kontrollieren. Der Forschungsstopp sollte anhalten bis Regulierungen getroffen sein würden, die der Bevölkerung die Angst vor der neuen Technik nehmen könnten. Im öffentlichen Diskurs herrschten – auch vor dem Hintergrund des globalen Wettrüstens und des Vietnamkriegs – Sorgen vor der Entwicklung biologischer Waffen, der Zerstörung der Natur und auch der Verbreitung neuer synthetischer Krankheiten vor. Im kollektiven Gedächtnis hat sich hier vor allem eine zweite wissenschaftliche Konferenz im kalifornischen Asilomar⁵ erhalten (Gisler/Kurath, 2011), in deren Zentrum allerdings weniger ethische als tatsächlich technische Risikoabwägungen und -fragen standen.⁶ Das Abschlussdokument der Tagung enthielt Regeln zur Risikominimierung in der weiteren Forschung und die Empfehlung an Wissenschaftler/-innen, sich an diese Empfehlungen zu halten, bis nationale Regulierungen – an denen zum Beispiel in England und den USA gearbeitet werde – getroffen worden seien (Berg et al., 1975: 1983). Das Dokument diente dann zum Beispiel auch den National Institutes of Health als Vorlage bei der Erstellung ihrer 1976 publizierten Richtlinien (Bud, 1993: 175–178; Gisler/Kurath, 2011: 214). Mithilfe von Sicherheitsregeln im Umgang mit genmodifizierten Organismen sollte das in der neuen Technik gesehene Potenzial kommuniziert und öffentlich akzeptabel gemacht werden. Die folgenden Projektionen der Forscher/-innen von möglichen Anwendungsbereichen reichten von der Produktion von Antibiotika, Hormonen und Nahrungsmitteln über die Energieproduktion und die Beseitigung von Umweltverschmutzungen mittels gentechnisch modifizierter Mikroorganismen bis hin zur Behandlung geneti-

5 Zur Asilomar-Konferenz siehe auch die Beiträge von Diekämper et al. (Kap. 7) und Hucho (Spotlight 5). Eine ausführliche Analyse des Asilomar-Prozesses und seiner Auswirkungen auf nationale Regulierungsprozesse mit einem Schwerpunkt auf Frankreich findet sich bei Könninger 2016, v. a. 127–168.

6 Zu dieser Einschätzung und weiterführender Literatur siehe Theisen, 1991: 112 und vor allem auch Könninger, 2016: 142–150.

scher Erkrankungen (Bud, 1993: 178–180). In der Tat konnte beispielsweise 1978 Insulin gentechnisch-mikrobiell hergestellt werden, was einen Meilenstein in der real wahrzunehmenden Nutzbarkeit der Gentechnologie markierte.

Die Hoffnungen waren entsprechend groß, dass die neue Biotechnologie auch wirtschaftlich genutzt werden könnte. Entsprechend setzte in den USA ab 1979 wieder eine Deregulierung der Forschung und Entwicklung ein (Wright, 1993: 94 f.; siehe auch Wright, 1986). In der BRD erklärte das Bundesministerium für Forschung und Technologie 1981, dass es keiner besonderen Gesetzgebung für rekombinante DNS-Techniken bedürfe (Gottweis, 1995: 298). Hauptsächlich die pharmazeutisch-chemische Industrie und die Agrarwirtschaft suchten hier einen neuen Markt. Vor dem Hintergrund der zweiten Ölkrise und einer stagnierenden Gewinnspanne engagierten sich allen voran Unternehmen aus den USA, Japan und der BRD, da sie einerseits in der Gentechnologie die Chance sahen, Alternativen zum Erdöl zu gewinnen und andererseits kommodifizierbare Innovationen erhofften. Universitäten und Unternehmen gingen dabei politisch gewünschte neue Allianzen ein. Die früher getrennt gehaltenen Bereiche von Grundlagenforschung und kapital- beziehungsweise verkaufsorientierter Anwendung begannen sich in diesem Feld zu überlagern (McKelvey, 1997: 519; Bud, 1993: 194 f.). Aus der BRD etwa betrieb Hoechst 1981 eine Partnerschaft mit der Harvard University. Im Gegenzug für die Finanzierung einer Abteilung für Molekularbiologie an einem Lehrkrankenhaus der Universität (Massachusetts General Hospital) sicherte sich Hoechst die Exklusivrechte an allen patentierbaren Entwicklungen aus der Abteilung (Kenney, 1987: 131 f.). Vor allem in den USA engagierten sich auch Wissenschaftler/-innen selbst und gründeten zusammen mit Kapitalgebern Biotechfirmen (Buchholz/Collins, 2013: 3759; McKelvey, 1997: 518). In der BRD leitete das Bundesministerium für Forschung und Technologie umfangreiche Fördermaßnahmen ein, durch die „der Rückstand gegenüber der amerikanischen Konkurrenz aufgeholt werden“ sollte (Theisen, 1991: 113). 1989 waren – so der Historiker Robert Bud – mehr als 400 deutsche Unternehmen im Feld der Biotechnologie aktiv oder in Vorhaben involviert (Bud, 1993: 205).

Der Erfolg war jedoch zunächst verhalten, sowohl was die Gewinnerwartungen als auch technische Entwicklungen anging. 1988 waren nur fünf Proteine aus gentechnisch veränderten Zellen auf dem Markt, die über eine Zulassung der amerikanischen Food and Drug Administration (FDA) verfügten (Insulin, Human Growth Hormone, Hepatitis-B-Impfung, Alpha-Interferon und der Tissue Plasminogen Activator).⁷ Für den medizinischen Bereich identifizierten Ronald Evens und Kenneth Kaitin einschließlich von Impfungen, Peptiden und monoklonalen Antikörpern 16 Produkte, die bis Ende

7 Zu dieser Liste siehe Bud, 1993: 192; Galambos/Sturchio, 1998: 259 f.

der 1980er Jahre entwickelt worden waren (Evens/Kaitin, 2014: 211–213). Einen kleinen Schub erfuhr der Markt in den späten 1980er Jahren durch die Technik der Polymerase-Kettenreaktion (PCR), mit der es möglich wurde, kleine Abschnitte der DNS immer wieder zu verdoppeln und damit die Sequenziergeschwindigkeit zu erhöhen, sowie durch die Entwicklung automatischer Sequenziergeräte (Durmaz et al., 2015: 4). Die PCR selbst war innerhalb des Biotech-Unternehmens CETUS entwickelt worden, das auf das Verfahren ein Patent anmeldete. 1991 wurde die Methode für 300 Millionen US\$ an das Pharmaunternehmen La Roche verkauft (Fore et al., 2006). Zu diesem Zeitpunkt war die Gentechnik im Begriff, ein ernstzunehmender Wirtschaftsfaktor zu werden, der sich auch und gerade im Gesundheitsbereich zu etablieren hoffte (Evens/Kaitin, 2014).

2.4 Wissenschaft, Politik und Öffentlichkeit

Die wirtschaftlichen und politischen Interessen stießen in den späten 1980er Jahren allerdings auf Sicherheitsbedenken und Skepsis in der Öffentlichkeit.⁸ Gerade in Europa (und hier besonders in der BRD) hatte die Bevölkerung wenig Vertrauen in die Gentechnik, befürchtete Risiken für die Umwelt sowie die Gesundheit, sah Missbrauchspotenzial, fürchtete eine eugenische Normalisierung und rief nach einer Regulierung der wissenschaftlichen und kommerziellen Nutzung (Bud, 1993: 210, 212–217; Gottweis, 1995: 216–222).⁹ Hierzu gehörte auch eine Debatte um die grundsätzliche Frage der Patentierbarkeit biotechnischer Erfindungen, die 1998 beispielsweise in eine EU-Richtlinie mündete. Diese sieht eine grundsätzliche Patentierbarkeit vor, wobei allerdings Teile des menschlichen Körpers ebenso wenig patentierbar sein sollen wie etwa menschliche Klonierungsverfahren oder Techniken zur Keimbahnveränderung beim Menschen (Pernicka, 2001).

Hoffnungserwartungen auf Seiten der Wissenschaft und Wirtschaft, die sich in Metaphern wie „revolutionär“, „therapeutisches Arsenal“ oder „Goldrausch“ spiegelten, standen gesellschaftliche Sorgen gegenüber, die in Frankenstein-, Nationalsozialismus- oder Büchse-der-Pandora-Metaphern gefasst wurden (Liakopoulos, 2002).¹⁰ Die etwa in einigen europäischen Ländern in der Bevölkerung der Gentechnik gegenüber vorherrschende kritische Grundhaltung bedrohte dabei aus Sicht der Wissenschaft, der

⁸ Zur Wahrnehmung der Gentechnologie in der Öffentlichkeit siehe auch die Beiträge von Renn (Kap. 6), Dieckämper et al. (Kap. 7) und Hampel (Spotlight 4).

⁹ Zur Vertrauenskrise der Gentechnologie siehe den Beitrag des Gen-ethischen Netzwerks (Spotlight 1).

¹⁰ Eine umfassende Analyse der öffentlichen Wahrnehmung der Gentechnik vor allem für die 1990er Jahre bietet die thematisch fokussierte Aufsatzsammlung von Hampel/Renn, 1999.

Industrie und der Politik die umfassende Nutzung der Technologie. In Großbritannien etwa warnte das Advisory Council on Science and Technology im Jahr 1990 vor Sicherheitsbedenken und Widerstand in der Bevölkerung, die eine rechtliche Rahmung der kommerziellen Anwendung notwendig machten, um die Technik überhaupt akzeptabel zu machen (Bud, 1991: 189). In der BRD gab der 10. Deutsche Bundestag 1984 eine Enquete zu „Chancen und Risiken der Gentechnologie“ in Auftrag. Zu diesem Zeitpunkt hatten sich in der BRD mehrere Formate, Arbeitskreise und Gruppen gebildet, die sich höchst kritisch und ablehnend mit der Gentechnologie auseinandersetzten (Gottweis, 1995: 215). Nach zweijähriger Arbeit und einer Reihe nicht öffentlicher Sitzungen – die Grünen hatten sich ohne Erfolg für öffentliche Sitzungen eingesetzt (Gill, 1991: 418) – legte die entsprechende Kommission dann einen Bericht vor, der versuchte, ein Konsenspapier für mehrere Bereiche zu sein. Die Grünen allerdings legten ein fast in allen Punkten und Empfehlungen widersprechendes Sondervotum vor – was an mehreren Stellen und schon in der Einleitung des Berichts relativ giftig kommentiert wird (Enquete-Kommission, 1987). Insgesamt blieb, so das Urteil von Bernhard Gill, der Bericht technopolitisch wirkungslos, öffentlich aber wurde er breit rezipiert. Ernüchtert stellt Gill rückblickend fest, dass dieser Bericht alle „konfligierenden Zukunftsentwürfe [...] auf die ‚Risikofrage‘“ verengte „und diese wiederum in technischer Kleinteiligkeit an die Experten“ zurückverwies. „Die Einbeziehung von Experten in das öffentliche politische Verfahren führte allenfalls zur Modernisierung der Beschwichtigungsrhetorik, nicht zu einer erweiterten Teilhabe oder zu kompetenteren Entscheidungen“ (Gill, 1991: 433).

Die Enquete konnte also die vielfach artikulierten öffentlichen Bedenken nicht zerstreuen. Politisch wurde für ein Gesetz zur Regulierung der Gentechnik gekämpft.¹¹ Ein Versuch der damaligen Regierung, gentechnische Modifikationen von Lebewesen unter das Bundesimmissionsschutzgesetz fallen zu lassen, wurde durch einen Prozess gegen Hoechst in Frage gestellt, nachdem Hoechst versucht hatte, eine Produktionsanlage zur gentechnischen Herstellung von Insulin zu errichten. Anwohner/-innen hatten gegen die Anlage geklagt und das Oberverwaltungsgericht in Hessen hatte der Klage mit der Begründung stattgegeben, dass in der BRD eben eine gesetzliche Grundlage zum Betrieb einer solchen Anlage durch das Immissionsschutzgesetz nicht gegeben sei und somit fehle (Gottweis, 1995: 225). 1990 verabschiedete die Regierung dann das „Gesetz zur Regelung von Fragen der Gentechnik“ (Gentechnikgesetz), mit dem für die BRD eine eher supportive rechtliche Rahmenbedingung für die Anwendung von Biotechnologien geschaffen wurde. Gleichzeitig wurde die gentechnische Fortpflanzungsmedizin im Embryonenschutzgesetz geregelt. Nach Kritik nun von Seiten der Wissenschaft-

11 Zur Gesetzgebung in der BRD und auch zum Folgenden siehe ausführlich Waldkirch, 2004.

ler/-innen, dass ihre Forschung behindert würde, und der Drohung, die Forschung in die USA zu verlagern – die BASF etwa kündigte 1991 an, ein gentechnisches Zentrum in der Nähe von Boston zu gründen (Theisen, 1991: 115) –, wurde das Gesetz 1993 reformiert und permissiver in Bezug auf den Einsatz von rekombinanten Techniken gestaltet (Gottweis, 1995: 226 f.).

2.5 Entwicklungen in den 1990er Jahren

Auf der technischen Seite erschlossen sich mittlerweile immer weitere Möglichkeiten der künstlichen Gestaltung von Leben auf molekularer Ebene. In Fortführung des mit der rekombinanten Technik eingeschlagenen Wegs und des Gedankens, synthetisch tätig zu werden, wurden erstmals transgene Mäuse entwickelt, das menschliche Genom wurde zwischen 1990 und 2001 im internationalen Humangenomprojekt entschlüsselt und Klonierungstechniken wurden weiterentwickelt.¹² Mitte der 1990er Jahre etwa wurde das vor allem auf der Rekombination von DNS basierende Inventar um automatisierte Genomanalysen und leistungsfähigere Speicher- und Rechentechnik erweitert. Dies ermöglichte zum einen die Suche nach komplexeren Interaktionen in der Replikation und Transkription von Genen, zum anderen eine umfassendere Modellierung und Simulation von Syntheseprozessen im Sinne einer, wie sie damals genannt wurde, Systembiologie (Cameron et al., 2014: 381).

Während in den 1990er Jahren vor allem das Humangenomprojekt unter internationaler öffentlicher Beobachtung stand, folgte nach der Publikation der gelungenen Klonierung des Schafs Dolly eine internationale Debatte um die (sozial-)ethischen Folgen des Klonens. Diese Diskussionen wurden noch einmal neu belebt durch die Möglichkeit der Reprogrammierung von Stammzellen ab der Mitte der 2000er Jahre (sog. induzierte pluripotente Stammzellen). Zumindest in der deutschen, englischen und amerikanischen Presseberichterstattung deutete sich dabei der Trend an, dass medizinische Anwendungen verstärkt in den Fokus der Aufmerksamkeit rückten und grundsätzliche ethische Fragen zwar verhandelt, aber mehr und mehr zugunsten einer Nutzen-Risiko-Bewertung in den Hintergrund rückten (Rolfes et al., 2017). Das permanent in der Debatte diskutierte Kerndilemma stellt die Güterabwägung zwischen dem prospektiven Nutzen der Technologie für Patientinnen und Patienten auf der einen Seite und dem Schutz von Grundwerten wie der mit der menschlichen Keimbahn verbundenen Würde und Identität einer prospektiven Person auf der anderen Seite dar.¹³ Pragma-

¹² Eine ausführliche Tabelle mit Zeitleiste findet sich u. a. bei Buchholz/Collins, 2013: 3758.

¹³ Einen Rückblick auf die ethische Debatte im amerikanischen Umfeld mit Schwerpunkt auf die medizinische Anwendung des Gentransfers und die genetische Prädiktion bietet Walters, 2012.

tische Lösungen und Kompromisse wie die Stichtagsregelung im deutschen Stammzellgesetz von 2002 (das die Einfuhr und Nutzung von vor dem Stichtag im Ausland generierten embryonalen Stammzellen für die Forschung erlaubt) verweisen ebenso auf diese Spannung wie Versuche, den durch Biotechnik erzeugten ethischen Problemen durch Biotechnik zu begegnen. So wurden Verfahren als mögliche Antworten auf ethische Bedenken gegen Embryonen verbrauchende Forschung vorgeschlagen, bei denen Stammzellen unter Umgehung potentiell lebensfähiger Embryonalstadien erzeugt werden konnten. Ein Beispiel bietet hier der Versuch, über induzierte pluripotente Stammzellen oder über künstliche Jungfernzeugung (Parthenogenese) Stammzellen zu erzeugen, die zunächst nicht in der Lage waren, sich zu potenziell lebensfähigen embryonalen Stammzellen weiterzuentwickeln (Fangerau, 2005 und 2010).

Im Zusammenhang mit der ethischen Bewertung gentechnischer Eingriffe in das Erbgut eines Menschen (Genome-Editing, auch Genomchirurgie) zu medizinischen Zwecken spielte von Anfang an die Unterscheidung zwischen der somatischen Gentherapie und der Keimbahntherapie eine große Rolle. Schon der oben erwähnte Bericht der Enquete-Kommission hielt fest, dass der „Gentransfer in menschliche somatische Zellen [...] von der Kommission als eine grundsätzlich vertretbare Therapieform angesehen“ werde und unter Beachtung von Sicherheitsvorkehrungen und forschungsethischer Prinzipien (wie die Aufklärung und das Einverständnis der Patienten und Patientinnen) zur Anwendung kommen sollte (Enquete-Kommission, 1987: XV, 183 f.). Die Keimbahntherapie mit der Folge der Weitergabe eines veränderten Genoms auf folgende Generationen hingegen lehnte die Kommission ab. „Insbesondere“ sei, so die Kommission, mit einem Blick auf die Geschichte der Eugenik „einem Mißbrauch genetischer Techniken zu Zwecken der Menschenzüchtung schon im Vorfeld entgegenzuwirken“ (Enquete-Kommission, 1987: XVI, 189 f.).

Als die Kommission diesen Bericht formulierte, waren Versuche zur somatischen Gentherapie schon Realität. 1975 hatte beispielsweise der Amerikaner Stanfield Rogers mit dem deutschen Kinderarzt Heinz G. Terheggen den (erfolglosen) Versuch unternommen, über ein Virus das Gen für Arginase in Patienten und Patientinnen mit einer Hyperarginämie einzuschleusen (Fehse et al., 2011: 44). Ab 1990 erfolgten dann auch zunehmend klinische Studien, in denen über Viren rekombinierte DNS in Patienten und Patientinnen eingebracht wurde (Fehse et al., 2011: 50 f.; Wirth et al., 2013: 164 f.). Die klinischen Erfolge waren aber zunächst entgegen der hohen Erwartungen gering. Als dann 1999 der Studienpatient Jesse Gelsinger (1981–1999) an den Folgen eines gentherapeutischen Versuches verstarb und in der Aufarbeitung ein Geflecht aus Interessenkonflikten der beteiligten Forscher/-innen, Regelverstößen und Missachtung von

Sicherheitsstandards offenbar wurde, machte sich noch mehr Ernüchterung breit.¹⁴ Auch war die Glaubwürdigkeit gentherapeutischer Ansätze durch diese Gemengelage an ethischen und technischen Fehlschlägen massiv erschüttert (Domasch/Fehse, 2011: 33). Dennoch lief die Forschung weiter. Das deutsche Nachrichtenmagazin *Der Spiegel* konstatierte 2009, dass die Gentechnik nach „schweren Rückschlägen [...] derzeit einen zarten zweiten Frühling“ erlebe (Traufetter, 2009: 57). Wirth et al. gingen 2013 von weltweit mehr als 1800 laufenden oder durchgeführten gentherapeutischen Studien aus (Wirth, 2013: 165).

Keimbahntherapien hingegen bewegten sich im Jahr des Kommissionsberichts noch allein im Bereich des Möglichen. Ausführlich setzte sich die Kommission dennoch mit den ethischen Argumenten auseinander, die für oder gegen die weitere Erforschung und mögliche Anwendung sprachen. In leichter Modifikation vom Bericht sortierte Kurt Bayertz die vorgebrachten Argumente in einen pragmatischen, gesellschaftspolitischen und kategorischen Argumentationsstrang (Bayertz, 1991). Während der erste Argumentationsstrang postuliert, dass Keimbahninterventionen verantwortlich genutzt werden und eine klinisch implementierten Therapien vergleichbare Therapieoption darstellten, geht der zweite davon aus, dass eine Missbrauchsgefahr zum Beispiel für eugenische Zwecke bestehe. Der dritte Argumentationsstrang betrachtet Keimbahninterventionen als Manipulation der menschlichen Natur, für die der einzige Handlungsrahmen der Erhalt des Status quo sei, weshalb diese Art der Intervention unterlassen werden müsse.

2.6 Jüngste Entwicklungen

Diese drei von Bayertz rekonstruierten Hauptstränge der Argumentation lassen sich auch im aktuellen bioethischen Diskurs zu Keimbahnveränderungen wiederfinden. Dieser hat einen neuen Schub erfahren, seitdem seit 2012 eine neue Methode insinuiert, dass Keimbahneingriffe gezielter, sicherer und vor allem einfacher durchgeführt werden könnten als früher. Ausgehend von Untersuchungen japanischer Wissenschaftler/-innen, die 1987 „clustered regularly interspaced palindromic repeats“ (CRISPR) von Nukleotiden im Genom des Bakteriums *Escherichia coli* beschrieben hatten, untersuchten in den 2000er Jahren verschiedene Laboratorien die Funktion dieser Nukleotidmuster. Die Rolle von CRISPR-assoziierten Genen (Cas) und den von ihnen kodierten Proteinen in der Virusabwehr von Bakterien stand hier im Mittelpunkt des Interesses. 2012 konnte eine Arbeitsgruppe um Jennifer Doudna und Emmanuelle Charpentier CRISPR/

¹⁴ Eine ausführliche Rekonstruktion, Analyse und Bewertung findet sich bei Wilson, 2010.

Cas9 als eine zum gezielten Durchtrennen von DNS-Strängen einsetzbare RNA-geleitete DNS-Endonuklease identifizieren, die das Potenzial hat, auch für Genomeditorungen jeder Art eingesetzt zu werden. Schon ein Jahr später zeigten verschiedene Studien auch die Einsatzmöglichkeit zur Veränderung des Genoms in menschlichen Zellen (Doudna/Charpentier, 2014).

Angesichts der einerseits (für Experten und Expertinnen) relativ einfach einsetzbaren Methode, die andererseits für den Einsatz bei Menschen noch nicht ausgereift schien und gleichzeitig das Potenzial bietet, für verschiedene Zwecke missbraucht zu werden, forderten Wissenschaftler/-innen 2015 in den beiden einflussreichen Fachzeitschriften *Science* und *Nature* (Baltimore et al., 2015; Lanphier et al., 2015) wieder einmal ein Moratorium zur Beratung über die technischen, ethischen, rechtlichen und gesellschaftlichen „Chancen und Risiken“, die diese neue Technik mit sich bringe. In diese Debatte schalteten sich auch verschiedene wissenschaftliche Akademien und politikberatende Gremien mit unterschiedlichsten Empfehlungen ein (Chan et al., 2015; Reich et al., 2015; UNESCO International Bioethics Committee, 2017; National Academies of Sciences, 2017; Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina e. V. et al., 2015). Der Deutsche Ethikrat gab beispielsweise 2017 als Ad-hoc-Empfehlung die Forderung nach einem globalen Diskurs mit dem Ziel einer internationalen Regulierung heraus (Deutscher Ethikrat, 2017).

Das Ergebnis der Diskussion ist offen, wobei sich der pragmatische Argumentationsstrang, der vor allem auf die Anwendung zielt, absehbar durchzusetzen scheint, da Technik Machbarkeit und Anwendung und den Bedarf ihrer Legitimation evoziert, wenn es nur Interessen gibt, die stärker sind als moralische Bedenken.

2.7 Fazit

Die Gentechnologie der letzten 50 Jahre zeichnet sich dadurch aus, dass ihr die Umsetzung der Grundidee der gezielten Steuerung von Lebensprozessen auf molekularer Ebene in einigen Bereichen gelungen ist. Durch den Einsatz von Technik konnten dabei klassische Biotechnologien wie Züchtungsvorgänge massiv beschleunigt werden. Die „Evolution genetischer Techniken“, wie einige Forscher/-innen die Geschichte ihres eigenen Faches beschreiben (Durmaz et al., 2015), führt dabei zu einer Schrumpfung von Zeit und Raum, sodass die Reaktionsräume, innerhalb derer auf mögliche Schäden reagiert werden kann, immer kleiner werden. Gleichzeitig läuft, so scheint es, paradoxerweise die ethische Debatte und öffentliche Sorge der Technik hinterher, obwohl sie eigentlich vor allem Zukunftsszenarien imaginiert. Kaum wird ein Moratorium zum

Nachdenken gefordert, ist es auch schon durch die Wirklichkeit und weitere Entwicklungen eingeholt oder überholt.

Neu an der aktuellsten Entwicklung scheint dabei zu sein, dass, anders als in früheren Phasen, nicht immer mehr aufwendige Großforschung zur Umsetzung gentechnologischer Ideen notwendig ist, sondern dass eine der Besonderheiten an der CRISPR/Cas-Technologie gerade deren vergleichsweise einfache Handhabung sein soll. Inzwischen bieten erste Unternehmen CRISPR/Cas-Baukästen für den Hausgebrauch zur Bestellung per E-Mail an.¹⁵ Für den Markt der Biotechnologien könnte dies bedeuten, dass sich hier zusätzlich zum Markt der global agierenden Großinvestoren und -investorinnen wie Arznei- oder Futtermittelhersteller/-innen ein sehr großer Markt der Heim-anwender/-innen¹⁶ etablieren könnte.¹⁷ Auf die erste Ausweitung der wirtschaftlichen Nutzung durch größere Unternehmen seit den 1990er Jahren (Evens/Kaitin, 2014), könnte nun eine Ausweitung zwischen Privatmarkt, Do-it-yourself-Bewegung und sowie Großanbietern und -anbieterinnen erfolgen. Die Orientierung am wirtschaftlichen Nutzen könnte hier also weiter als Triebfeder der Forschung und Entwicklung wirken. Dieser sich aus den Großlaboratorien verabschiedende Markt hat überdies das Potenzial, sich der Kontrolle etwa durch Behörden zu entziehen. Technikfolgenabschätzung und Risikoabwägung werden auf diese Weise noch zahn- und wirkungsloser als sie es ohnehin oft sind. Bedenken und Misstrauen könnte nur durch eine internationale Strategie der Regulierung, die mit Kontrolle und Sanktionen einhergeht, begegnet werden, wodurch sich am Ende doch wieder ein sehr altes Trilemma auftut zwischen der Freiheit der Forschung und dem Wunsch der Forschenden und der durch die Forschung Betroffenen, einerseits ihre positiven Effekte beanspruchen zu können und andererseits gleichzeitig vor ihren negativen Folgen geschützt werden zu können.¹⁸

Danksagung: Einen großen Dank für Anregungen, Korrekturen und hilfreiche Kommentare möchte ich aussprechen an Uta Bittner, Sabine Könninger, Lilian Marx-Stölting, Vasilija Rolfes und Hannah Schickl.

¹⁵ Siehe z. B. den Bericht von Annie Sneed auf den Seiten des Scientific American (Sneed, 2017).

¹⁶ Siehe zum Thema Do-it-yourself den Beitrag von Karberg (Spotlight 3).

¹⁷ Vergleichbares findet sich etwa in der Geschichte der Blutdruckmessung, siehe hierzu Fangerau/Martin, 2014; Martin/Fangerau, 2015.

¹⁸ Vorschläge zum Umgang mit dieser Konfliktsituation bietet z. B. Ober, 2012.

2.8 Literatur

- Baltimore, D. et al. (2015): Biotechnology. A Prudent Path Forward for Genomic Engineering and Germline Gene Modification. In: *Science* 348(6230): 36–38.
- Bayertz, K. (1991): Drei Typen ethischer Argumentationen. In: Sass, H.-M. (Hrsg.): *Genomanalyse und Gentherapie. Ethische Herausforderungen in der Humanmedizin*. Springer, Berlin, Heidelberg: 291–316.
- Berg, P. et al. (1975): Summary Statement of the Asilomar Conference on Recombinant DNA Molecules. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences* 72(6): 1981–1984.
- Buchholz, K./Collins, J. (2013): The Roots. A Short History of Industrial Microbiology and Biotechnology. In: *Applied Microbiology and Biotechnology* 97: 3747–3762.
- Bud, R. (1991): Biotechnology in the Twentieth Century. In: *Social Studies of Science* 21(3): 415–457.
- Bud, R. (1993): *The Uses of Life: A History of Biotechnology*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Cameron, D. E. et al. (2014): A Brief History of Synthetic Biology. In: *Nature Reviews Microbiology* 12: 381–390.
- Carlson, E. A. (1991): Defining the Gene. An Evolving Concept. In: *American Journal of Human Genetics* 49: 475–487.
- Chan, S. et al. (2015): Genome Editing Technologies and Human Germline Genetic Modification. The Hinxtion Group Consensus Statement. In: *American Journal of Bioethics* 15(12): 42–47.
- Der Spiegel: Eingriff ins Erbgut. 30.06.2009. Unter: <http://www.spiegel.de/spiegel/spiegelwissen/d-65886414.html> [24.02.2018].
- Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina e.V., Deutsche Forschungsgemeinschaft, acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften e. V., Union der deutschen Akademien der Wissenschaften e. V. (2015): Chancen und Grenzen des genome editing/ The Opportunities and Limits of Genome Editing. Halle (Saale). Unter: http://www.dfg.de/download/pdf/dfg_im_profil/reden_stellungnahmen/2015/stellungnahme_genome_editing_2015.pdf [30.04.2018].
- Domasch, S./Fehse, B. (2011): Gentherapie in Deutschland. Eine Einführung. In: Domasch, S./Fehse, B. (Hrsg.): *Gentherapie in Deutschland. Eine interdisziplinäre Bestandsaufnahme*. Forum W, Dornburg: 31–40.
- Doudna, J./Charpentier, E. (2014): The New Frontier of Genome Engineering with CRISPR-Cas9. In: *Science, Technology and Human Values* 346(6213): 1258096. DOI: 10.1126/science.1258096.
- Durmaz, A. A. et al. (2015): Evolution of Genetic Techniques: Past, Present, and Beyond. In: *BioMed Research International* 2015: 461524.
- Enquete-Kommission (1987): Bericht der Enquete-Kommission des Deutschen Bundestages „Chancen und Risiken der Gentechnologie“ vom 8. Januar 1987. Bundestagsdrucksache 10/6775.
- Evens, R./Kaitin, K. (2014): The Evolution of Biotechnology and its Impact on Health Care. In: *Health Affairs* 34(2): 210–219.
- Fangerau, H. (2005): Can Artificial Parthenogenesis Sidestep Ethical Pitfalls in Human Therapeutic Cloning? An Historical Perspective. In: *Journal of Medical Ethics* 31(12): 733–735.

- Fangerau, H. (2010): Brain, Mind and Regenerative Medicine. Ethical Uncertainties and the Paradox of their Technical Fix. In: Fangerau, H. et al. (Hrsg.): *Implanted Minds. The Neuroethics of Intracerebral Stem Cell Transplantation and Deep Brain Stimulation*. Transcript, Bielefeld: 15–30.
- Fangerau, H. (2010): *Spinning the Scientific Web. Jacques Loeb (1859–1924) und sein Programm einer internationalen biomedizinischen Grundlagenforschung*. Akademie Verlag, Berlin.
- Fangerau, H. (2012): Zur Geschichte der Synthetischen Biologie. In: Köchy, K./Hümpel, A. (Hrsg.): *Synthetische Biologie. Entwicklung einer neuen Ingenieurbiologie? Themenband der interdisziplinären Arbeitsgruppe Gentechnologiebericht*. Forum W, Dornburg: 61–84.
- Fangerau, H./Martin, M. (2014): Blutdruck messen. Die ‚Technikalisierung‘ der Kreislaufdiagnostik. In: Technomuseum (Hrsg.): *Herzblut. Geschichte und Zukunft der Medizintechnik*. Theiss/WBG, Darmstadt: 74–93.
- Fehse, B. et al. (2011): Stand wissenschaftlicher und medizinischer Entwicklungen. In: Domasch, S./Fehse, B. (Hrsg.): *Gentherapie in Deutschland. Eine interdisziplinäre Bestandsaufnahme*. Forum W, Dornburg: 41–126.
- Fore, J. et al. (2006): The Effects of Business Practices, Licensing, and Intellectual Property on Development and Dissemination of the Polymerase Chain Reaction: Case Study. In: *Journal of Biomedical Discovery and Collaboration* 7(1). DOI: 10.1186/1747-5333-1-7.
- Galambos, L./Sturchio, J. L. (1998): Pharmaceutical Firms and the Transition to Biotechnology. A Study in Strategic Innovation. In: *Business History Review* 72(2): 250–278.
- Gill, B. (1991): Die Bundestags-Enquete zur Gentechnik. Lehrstück einer politischen Nicht-Entscheidung. In: *Leviathan* 19(3): 411–434.
- Gisler, P./Kurath, M. (2011): Paradise Lost? ‘Science’ and ‘the Public’ after Asilomar. In: *Science, Technology, & Human Values* 36(2): 213–243.
- Gottweis, H. (1995): German Politics of Genetic Engineering and its Deconstruction. In: *Social Studies of Science* 25: 195–235.
- Hampel, J./Renn, O. (Hrsg.) (1999): *Gentechnik in der Öffentlichkeit. Wahrnehmung und Bewertung einer umstrittenen Technologie*. Campus, Frankfurt.
- Jones, D. (2011): Genetic Engineering of a Mouse. Dr. Frank Ruddle and Somatic Cell Genetics. In: *Yale Journal of Biology and Medicine* 84(2): 117–124.
- Kenney, M. (1987): The Ethical Dilemmas of University-Industry Collaborations. In: *Journal of Business Ethics* 6(2): 127–135.
- Könninger, S. (2016): *Genealogie der Ethikpolitik. Nationale Ethikkomitees als neue Regierungstechnologie. Das Beispiel Frankreichs*. Transcript, Bielefeld.
- Lanphier, E. et al. (2015): Don't Edit the Human Germ Line. In: *Nature* 519(7544): 410–411.
- Liakopoulos, M. (2002): Pandora's Box or Panacea? Unsing Metaphors to Create the Public Representations of Biotechnology. In: *Public Understanding of Science* 11(1): 5–32.

- Martin, M./Fangerau, H. (2015): Technische Medikalisation in einer alternden Gesellschaft. Instrumentelle Rahmen und normative Folgen am Beispiel präventivmedizinischer Ansätze. In: Weber, K. et al. (Hrsg.): *Technisierung des Alltags. Beitrag für ein gutes Leben?* Steiner, Stuttgart: 19–45.
- McKelvey, M. (1997): Coevolution in Commercial Genetic Engineering. In: *Industrial and Corporate Change* 6(3): 503–532.
- Müller-Wille, S./Rheinberger, H.-J. (2009): *Das Gen im Zeitalter der Postgenomik. Eine wissenschaftshistorische Bestandsaufnahme.* Suhrkamp, Frankfurt.
- National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine (2017): *Human Genome Editing: Science, Ethics, and Governance.* Washington (DC).
- Nicholl, D. S. T. (2008): *An Introduction to Genetic Engineering.* Cambridge University Press, Cambridge, New York.
- Ober, S. (2012): Grüne Gentechnik zwischen Forschungsfreiheit und Anwendungsrisiko am Beispiel des Risikodiskurses um MON810. In: Grimm, H./Schleissing, S. (Hrsg.): *Grüne Gentechnik. Zwischen Forschungsfreiheit und Anwendungsrisiko.* Nomos, Baden-Baden: 275–290.
- Pernicka, S. (2001): *Wem gehören die Gene? Patente auf Leben für ein neues Wachstumsregime.* Argument, Hamburg.
- Portin, P. (2000): The Origin, Development and Present Status of the Concept of the Gene: A Short Historical Account of the Discoveries. In: *Current Genomics* 1: 29–40.
- Reich, J. et al. (Hrsg.) (2015): *Genomchirurgie beim Menschen. Zur verantwortlichen Bewertung einer neuen Technologie.* Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften, Berlin.
- Rolfes, V. et al. (2017): Diskurse über induzierte pluripotente Stammzellforschung und ihre Auswirkungen auf die Gestaltung sozialkompatibler Lösungen. Eine interdisziplinäre Bestandsaufnahme. In: *Jahrbuch für Wissenschaft und Ethik* 22: 65–86.
- Roux, W. (1911): Biologie und Technik. Aus einer Begrüßungsanspache zum 50jährigen Stiftungsfest des Thüringer Bezirksvereins des Vereins Deutscher Ingenieure am 27. Mai 1911. In: *Archiv für Entwicklungsmechanik* 32: 735–738.
- Scheffler, R. W./Strasser, B. J. (2015): Biomedical Sciences and Technology. History and Sociology of. In: Wright, J. D. (Hrsg.): *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences.* Elsevier, Amsterdam: 663–669.
- Sneed, A. (2017): Mail-Order CRISPR Kits Allow Absolutely Anyone to Hack DNA. Unter: <https://www.scientificamerican.com/article/mail-order-crispr-kits-allow-absolutely-anyone-to-hack-dna/> [24.02.2018].
- Strasser, B. J. (2014): *Biomedicine: Meanings, Assumptions, and Possible Futures.* Report to the Swiss Science and Innovation Council (SSIC) 1/2014. Swiss Science and Innovation Council, Bern.
- Theisen, H. (1991): Zur Demokratieverträglichkeit der Bio- und Gentechnologie. In: *Soziale Welt* 42(1): 109–130.

- UNESCO International Bioethics Committee (2017): Updating its Reflections on the Human Genome and Human Rights. Unter: <http://unesdoc.unesco.org/images/0023/002332/233258E.pdf> [27.11.2017].
- Waldkirch, B. (2004): Der Gesetzgeber und die Gentechnik. Das Spannungsverhältnis von Interessen, Sach- und Zeitdruck. Verl. für Sozialwiss., Wiesbaden.
- Walters, L. (2012): Genetics and Bioethics. How Our Thinking Has Changed Since 1969. In: *Theoretical Medicine and Bioethics* 33: 83–95.
- Wells, K. D. (2016): Genetic Engineering of Mammals. In: *Cell and Tissue Research* 363: 289–294.
- Wilson, R. F. (2010): The Death of Jesse Gelsinger. New Evidence of the Influence of Money and Prestige in Human Research. In: *American Journal of Law & Medicine* 36: 295–325.
- Wirth, T. et al. (2013): History of Gene Therapy. In: *Gene* 525: 162–169.
- Wright, S. (1986): Recombinant DNA Technology and Its Social Transformation, 1972–1982. In: *Osiris* 2: 303–360.
- Wright, S. (1993): The Social Warp of Science: Writing the History of Genetic Engineering Policy. In: *Science, Technology and Human Values* 18(1): 79–101.