

# Fünfter Gentechnologiebericht

Sachstand und Perspektiven für Forschung und Anwendung

Herausgegeben von

Boris Fehse (Sprecher) | Ferdinand Hucho | Sina Bartfeld  
Stephan Clemens | Tobias Erb | Heiner Fangerau | Jürgen Hampel  
Martin Korte | Lilian Marx-Stölting | Stefan Mundlos  
Angela Osterheider | Anja Pichl | Jens Reich | Hannah Schickl  
Silke Schicktanz | Jochen Taupitz | Jörn Walter | Eva Winkler  
Martin Zenke



Nomos



Forschungsberichte der interdisziplinären Arbeitsgruppen  
der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften

# Fünfter Gentechnologiebericht

Sachstand und Perspektiven für Forschung  
und Anwendung

## Herausgegeben von

Boris Fehse (Sprecher) | Ferdinand Hucho | Sina Bartfeld  
Stephan Clemens | Tobias Erb | Heiner Fangerau | Jürgen Hampel  
Martin Korte | Lilian Marx-Stölting | Stefan Mundlos  
Angela Osterheider | Anja Pichl | Jens Reich | Hannah Schickl  
Silke Schick Tanz | Jochen Taupitz | Jörn Walter | Eva Winkler  
Martin Zenke



**Nomos**



berlin-brandenburgische  
**AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN**

Die Open-Access-Veröffentlichung der elektronischen Ausgabe dieses Werkes wurde mit Unterstützung der Friede Springer Stiftung ermöglicht.

Interdisziplinäre Arbeitsgruppen  
Forschungsberichte, Band 44

Herausgegeben von der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften

**Die Deutsche Nationalbibliothek** verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

1. Auflage 2021

© Boris Fehse | Ferdinand Hucho | Sina Bartfeld | Stephan Clemens | Tobias Erb  
Heiner Fangerau | Jürgen Hampel | Martin Korte | Lilian Marx-Stölting | Stefan  
Mundlos | Angela Osterheider | Anja Pichl | Jens Reich | Hannah Schickl | Silke  
Schicktanz | Jochen Taupitz | Jörn Walter | Eva Winkler | Martin Zenke (Hrsg.)

Publiziert von

Nomos Verlagsgesellschaft mbH & Co. KG  
Waldseestraße 3-5 | 76530 Baden-Baden  
[www.nomos.de](http://www.nomos.de)

Gesamtherstellung:

Nomos Verlagsgesellschaft mbH & Co. KG  
Waldseestraße 3-5 | 76530 Baden-Baden

ISBN (Print): 978-3-8487-8337-3

ISBN (ePDF): 978-3-7489-2724-2

DOI: <https://doi.org/10.5771/9783748927242>



Onlineversion  
Nomos eLibrary



Dieses Werk ist lizenziert unter einer Creative Commons Namensnennung  
– Nicht kommerziell – Keine Bearbeitungen 4.0 International Lizenz.

# Vorwort

Seit 2001 hat sich die interdisziplinäre Arbeitsgruppe (IAG) *Gentechnologiebericht* der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften (BBAW) die Aufgabe gestellt, die Entwicklung der Gentechnologien und ihrer Relevanz für die Gesellschaft in Form eines Langzeitmonitorings zu beobachten und zu begleiten. Auch 20 Jahre nach ihrer Gründung haben die Gentechnologien nichts von ihrer Bedeutung eingebüßt. Im Gegenteil, sie entwickeln sich rasant weiter und neue Querschnittstechnologien wie das Genome-Editing und die Einzelzellanalyse vernetzen die unterschiedlichen Bereiche untereinander und erhöhen ihre gesellschaftliche Bedeutung. In Biologie, Biomedizin und Biotechnologie, in Landwirtschaft, Industrie und medizinischer Versorgung sind gentechnische Methoden nicht mehr wegzudenken und auch zunehmend wirtschaftlich bedeutsam.

Das öffentliche Interesse an diesen Entwicklungen und ihren ethischen, rechtlichen und gesellschaftlichen Implikationen bleibt weiterhin hoch. Dabei werden sowohl neue Fragestellungen aufgeworfen als auch bereits bekannte erneut und zum Teil differenzierter oder anders diskutiert. Die IAG hat als Schnittstelle zwischen Wissenschaft, Politik, Wirtschaft und Gesellschaft von 2001 bis 2021 regelmäßig allgemeinverständliche Gentechnologieberichte und Themenbände zu den unterschiedlichen Gentechnologien in Deutschland publiziert. Auch mit dem vorliegenden „Fünften Gentechnologiebericht“ will sie zu mehr Transparenz und einem breiten öffentlichen Diskurs beitragen.

Der „Fünfte Gentechnologiebericht“ ist in drei Hauptteile gegliedert: Hauptteil I umfasst Beiträge zum naturwissenschaftlichen Sachstand der von der IAG begleiteten Themen, Hauptteil II beschäftigt sich mit ethischen, epistemologischen, rechtlichen und gesellschaftlichen Aspekten und Hauptteil III präsentiert Überlegungen und Untersuchungen zu Einstellungen zur Gentechnik in der Bevölkerung. Der Bericht enthält auch die Fortführung des durch die IAG etablierten Monitorings unterschiedlicher Gentechnologien anhand von Problemfeld- und Indikatorenanalysen. Den Hauptteilen vorangestellt sind neben der Zusammenfassung (Pichl/Marx-Stöltzing), der Einleitung (Fehse et al., Kap. 1) und einer Reflexion des Gründers der IAG *Gentechnologiebericht* zum Monitoring der IAG (Hucho, Kap. 2) auch die Handlungsempfehlungen zu den Themenfeldern der IAG *Gentechnologiebericht*. Diese werden von den Mitgliedern der IAG gemeinschaftlich getragen. Die darin vorgestellten Empfehlungen bilden die Meinung der IAG

ab, die nicht notwendigerweise von allen Mitgliedern der BBAW vertreten wird; die Akademie steht jedoch hinter der Qualität der geleisteten Arbeit. Die weiteren, im Bericht namentlich gekennzeichneten Beiträge geben nicht zwingend die Meinung der Herausgeberinnen und Herausgeber oder der Arbeitsgruppe oder der BBAW wieder.

Herzlich danken möchte ich allen Mitwirkenden an diesem Bericht, insbesondere den Herausgeberinnen und Herausgebern, allen Autorinnen und Autoren, aber auch dem Nomos-Verlag, vor allem Kristina Stoll und Sandra Frey, für Satz, Druck und die erneute gute Zusammenarbeit. Die Fertigstellung dieses Berichtes wäre ohne das unermüdliche Engagement der Geschäftsstelle der IAG *Gentechnologiebericht* sowie die vielfältige Unterstützung von Ute Tintemann nicht möglich gewesen. Herzlichen Dank dafür!

Die IAG ist der Friede Springer Stiftung für die finanzielle Förderung der letzten drei Jahre und der BBAW für ihre langjährige Unterstützung zu großem Dank verpflichtet.

Die interdisziplinäre Arbeitsgruppe *Gentechnologiebericht* wird ihr Monitoring in den kommenden Jahren am Berlin Institute of Health (BIH) fortsetzen. Wir danken dem BIH für die Weiterführung des Projektes und freuen uns auf einen Neubeginn und die Möglichkeit zur Neuorientierung unserer Forschung.

Boris Fehse

Sprecher der interdisziplinären Arbeitsgruppe *Gentechnologiebericht* der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften.

Hamburg, im Juli 2021

# Inhalt

*Anja Pichl und Lilian Marx-Stölting*

Zusammenfassung .....	15
-----------------------	----

*Interdisziplinäre Arbeitsgruppe Gentechnologiebericht*

Kurzfassung der Handlungsempfehlungen der IAG <i>Gentechnologiebericht</i> .....	38
--	----

*Interdisziplinäre Arbeitsgruppe Gentechnologiebericht*

Handlungsempfehlungen zu den Themenfeldern der IAG <i>Gentechnologiebericht</i> .....	47
---	----

*Boris Fehse, Lilian Marx-Stölting, Hannah Schickl und Aida Khachatryan*

1. Einleitung .....	81
1.1 Gentechnologien in Deutschland im Fokus der IAG <i>Gentechnologiebericht</i> .....	81
1.2 Zu Struktur und Inhalt des „Fünften <i>Gentechnologieberichts</i> “ .....	85
1.3 Literaturverzeichnis .....	86

*Ferdinand Hucho*

2. Spotlight: Monitoring, die kritische Beobachtung einer in Teilen umstrittenen Technologie .....	87
2.1 Monitoring der Gentechnologie in Deutschland .....	88
2.2 Werkzeug des Monitorings: Indikatoren .....	88
2.3 Problemfeldanalyse .....	89
2.4 Allgemeine Voraussetzungen für das Monitoring .....	90
2.5 Umfeld des Monitorings: die interdisziplinäre Arbeitsgruppe und ihre Arbeitsweise .....	90
2.6 Erfahrungen mit der Systematik des Monitorings und essenzielle Grundlagen .....	91
2.7 Literaturverzeichnis .....	92

*Jörn Walter und Nina Gasparoni*

3.	Themenbereich Epigenetik: von Zellidentitäten bis hin zu Krankheiten und Therapien .....	93
3.1	Allgemeine Bedeutung und Prinzipien der Epigenetik .....	93
3.2	Molekulare Grundlagen der Epigenetik .....	95
3.3	Epigenomische Technologien .....	104
3.4	Epigenetik und Nachhaltigkeit epigenetischer Veränderungen .....	107
3.5	Perspektiven epigenetischer Forschung .....	110
3.6	Literaturverzeichnis .....	110

*Stefan Mundlos*

4.	Themenbereich genetische Diagnostik: Das humane Genom in der medizinischen Diagnostik .....	114
4.1	Das Humangenomprojekt – ein grundlegender Durchbruch in der Biologie des Menschen .....	114
4.2	Technologischer Fortschritt in der Genomanalyse .....	116
4.3	Die neuen Sequenziermethoden – Eine Revolution in der genomischen Analyse und genetischen Diagnostik .....	121
4.4	Gendiagnostik in der Gesundheitsversorgung .....	127
4.5	Grenzen, Probleme und ethische Aspekte der Gendiagnostik .....	131
4.6	Gesetzliche Regelungen .....	133
4.7	Abrechnungsmodalitäten und Zugang zu genetischer Diagnostik im deutschen Gesundheitswesen .....	135
4.8	Ausblick: Eine Diagnose für alle seltenen Erkrankungen .....	136
4.9	Literaturverzeichnis .....	137

*Martin Zenke und Sina Bartfeld*

5.	Themenbereich Stammzellen und Organoiden: Chancen für die regenerative und personalisierte Medizin, Gen- und Biotechnologie .....	139
5.1	Zur Definition von Stammzellen und Organoiden .....	139
5.2	Stammzellen .....	140
5.3	Organoiden .....	145
5.4	Ethische und rechtliche Einordnung der Forschung an Stammzellen und Organoiden .....	151
5.5	Literaturverzeichnis .....	155

*Boris Fehse*

6.	Themenbereich somatische Gentherapie: aus dem Labor über klinische Studien zum kommerziellen Einsatz .....	156
6.1	Die Gentherapie weiter auf dem Vormarsch .....	156
6.2	Krebsgentherapie .....	158
6.3	Monogene Erbkrankheiten .....	173
6.4	Zusammenfassung .....	179
6.5	Literaturverzeichnis .....	179

*Stephan Clemens*

7.	Themenbereich Grüne Gentechnologie: mit Genomeditierung zum Neustart? .....	184
7.1	Entwicklung der Genomeditierung von Pflanzen .....	184
7.2	Potenziale der Genomeditierung bei Pflanzen .....	187
7.3	Unintendierte genetische Veränderungen .....	193
7.4	Transgene Pflanzen .....	194
7.5	Kommerzieller Anbau von transgenen Pflanzen .....	196
7.6	Verhinderte Feldversuche – Einschränkung der Forschungsfreiheit ....	197
7.7	Die Notwendigkeit einer Neuformulierung der Regulierung genetisch veränderter Pflanzen .....	199
7.8	Fazit: Wird es einen Neustart geben? .....	201
7.9	Literaturverzeichnis .....	203

*Tobias J. Erb*

8.	Themenbereich synthetische Biologie: Top-down- und Bottom-up-Ansätze .	206
8.1	Die synthetische Biologie in einer sich wandelnden Bioökonomie .....	206
8.2	Biofoundries: Entwicklung neuer Technologien für eine neue Generation Bioingenieurinnen und -ingenieure .....	209
8.3	Nachhaltige Synthese und Abfallströme als Rohstoffquelle mittels synthetischer Biologie .....	211
8.4	Bottom-up-Ansatz: Künstliche Zellen für neue Verfahren in der Biotechnologie und Medizin .....	213
8.5	Fazit .....	215
8.6	Literaturverzeichnis .....	215



*Boris Fehse, Jörn Walter, Jens Reich, Lilian Marx-Stölting, Anja Pichl und Hannah Schickl*

9. Genome-Editing und Einzelzellanalyse: Neue Methoden und ihre Implikationen für Forschung, Anwendung und Gesellschaft ..... 219

9.1 Genome-Editing ..... 220

9.2 Einzelzellanalyse ..... 240

9.3 Literaturverzeichnis ..... 245

*Alma Kolleck und Arnold Sauter*

10. Spotlight: Gene Drives – neuer Impuls für die Gentechnikkontroverse? ..... 251

10.1 Ausgangspunkt: Wirkprinzip und Stand der Entwicklung von Gene Drives ..... 251

10.2 Bekannte Debattenmuster: Übersteigerte Erwartungen und Befürchtungen ..... 253

10.3 Der darunter liegende Konflikt: Technologiefixierung versus Problemlösungsorientierung ..... 254

10.4 Neue Aspekte in der Diskussion um Gene Drives: Größere Brisanz von Risikomanagement und -governance ..... 256

10.5 Ausblick: Herausforderungen für demokratische Mitsprache in neuer Dimension ..... 258

10.6 Literaturverzeichnis ..... 259

*Hans-Jörg Rheinberger und Staffan Müller-Wille*

11. Die offene Zukunft des Gens ..... 261

11.1 Standortbestimmung ..... 261

11.2 Die Reduktionismusdebatte ..... 262

11.3 Epigenetik ..... 265

11.4 Die Persistenz des Gendiskurses ..... 267

11.5 Wissenschaftsphilosophische Konsequenzen ..... 269

11.6 Logik der Forschung ..... 271

11.7 Literaturverzeichnis ..... 272

*Ali Jawaid und Isabelle M. Mansuy*

12. Generationsübergreifende Auswirkungen von Traumata: Implikationen für Individuen und Gesellschaft ..... 277

12.1 Einführung in die Epigenetik ..... 279

12.2 Epigenetische Mechanismen in der Keimbahn ..... 281

12.3 Vererbung von Traumafolgen in Tiermodellen und beim Menschen ... 282

12.4	Die Rolle des Blutes bei der Übertragung der Auswirkungen von Traumaexposition und Krankheitsanfälligkeit .....	286
12.5	Zur Bedeutung der epigenetischen Vererbungsforschung für die Gesellschaft .....	287
12.6	Günstige Zeitfenster .....	289
12.7	Schlussfolgerungen und Ausblick .....	293
12.8	Literaturverzeichnis .....	294

*Karla Alex und Eva C. Winkler*

13.	Ethischer Diskurs zu Epigenetik und Genomeditierung: die Gefahr eines (epi-)genetischen Determinismus und naturwissenschaftlich strittiger Grundannahmen .....	299
13.1	Einführung .....	299
13.2	-ismen .....	303
13.3	Ethischer Diskurs zu Epigenetik und Genomeditierung – Überschneidungen und Differenzen anhand zentraler Aspekte .....	313
13.4	Zusammenfassung und Ausblick .....	320
13.5	Literaturverzeichnis .....	321

*Annette Leßmöllmann*

14.	Spotlight: Das „Bürgerdelphi Keimbahntherapie“ .....	324
14.1	Ausgangslage: Keimbahntherapie und Bürger*innenbeteiligung .....	324
14.2	Ziel und Methoden von BUEDEKA .....	325
14.3	Ergebnisse des Bürgerdelphis .....	327
14.4	Fazit .....	329
14.5	Literaturverzeichnis .....	330

*Jochen Taupitz*

15.	Humane Hirnorganoide: Die deutsche Rechtslage .....	332
15.1	Einleitung .....	332
15.2	Verfassungsrechtliche Rahmenbedingungen .....	334
15.3	Der rechtliche Status von Hirnorganoiden nach geltendem Recht .....	336
15.4	Der rechtliche Status von Hirnorganoiden: Rechtspolitische Überlegungen .....	348
15.5	Zusammenfassung .....	352
15.6	Literaturverzeichnis .....	353

*Fruzsina Molnár-Gábor und Andreas Merk*

16.	Spotlight: Die datenschutzrechtliche Bewertung von Neurodaten .....	360
16.1	Die Einordnung von Neurodaten in bestehende Kategorien .....	361
16.2	Die Verarbeitung von Neurodaten .....	363
16.3	Datenschutz als Teil der Regelungslösung .....	367
16.4	Literaturverzeichnis .....	369

*Eva C. Winkler und Barbara Prainsack*

17.	Big Data in der personalisierten Medizin – ethische Herausforderungen und Lösungsansätze .....	371
17.1	Was ist Big Data? .....	372
17.2	Was hat Big Data mit personalisierter Medizin zu tun? .....	373
17.3	Ethische Herausforderungen an der Schnittstelle von Forschung und Krankenversorgung .....	376
17.4	Ethische Begründungen für die und Anforderungen an die Governance der Datennutzung und deren Umsetzung .....	382
17.5	Partizipation und Empowerment – die Rolle der Patient*innen in datenintensiver und personalisierter Medizin .....	392
17.6	Fazit .....	395
17.7	Literaturverzeichnis .....	396

*Silke Schicktanz und Lorina Buhr*

18.	Kollektivität, Partizipation und Solidarität in einer zeitgemäßen Bioethik ...	401
18.1	Einleitung .....	401
18.2	Wann ist Kollektivität normativ relevant? .....	402
18.3	Schlussüberlegungen und Ausblick .....	411
18.4	Literaturverzeichnis .....	412

*Martin Korte*

19.	Einsatz gentechnologischer Methoden in der Impfstoffentwicklung gegen das SARS-CoV-2-Virus .....	415
19.1	Die ersten Schritte in der Grundlagenforschung .....	415
19.2	Impfstoffentwicklung mit gentechnologischen Verfahren .....	420
19.3	Fazit .....	430
19.4	Literaturverzeichnis .....	431

*Heiner Fangerau und Alfons Labisch*

20. Spotlight: Natur, Kultur und Covid-19 – ein Essay für eine globale Seuchengeschichte .....	434
20.1 Integrierte Ansätze und ein neuer Blick auf die Geschichte angesichts einer gegenwärtigen pandemischen Krise .....	435
20.2 Natur, Kultur und ökologische Räume .....	437
20.3 Verkehr .....	440
20.4 Technische Mittel der Produktion und Reproduktion .....	441
20.5 Globale Geschichte .....	442
20.6 Fazit: Globale und vernetzte Geschichte .....	443
20.7 Literaturverzeichnis .....	444

*Wolfgang van den Daele und Inge Broer*

21. Rückblick auf die Grüne Gentechnik in Europa .....	447
21.1 Zusammenfassung .....	447
21.2 Die ‚Normalisierung‘ von Risiken und Ungewissheiten durch Vergleich .....	448
21.3 Festgefrorenes feindliches Meinungsklima .....	455
21.4 Abkehr vom liberalen Innovationsregime: Gewinne und Verluste .....	459
21.5 Licht am Ende des Tunnels? .....	465
21.6 Literaturverzeichnis .....	466

*Hans-Georg Dederer*

22. Spotlight: Welche Folgen hat das EuGH-Urteil zur rechtlichen Einordnung von Mutagenese-Organismen? .....	469
22.1 EuGH-Urteil vom 25. Juli 2018 .....	469
22.2 Folgen des EuGH-Urteils .....	472
22.3 Schlussfolgerungen .....	477
22.4 Literaturverzeichnis .....	477

*Ortwin Renn*

23. Gentechnische Anwendungen im Spiegel der nachhaltigen Entwicklung .....	480
23.1 Einleitung .....	480
23.2 Klassifizierung gentechnischer Anwendungen .....	480
23.3 Die Grüne Gentechnik .....	482
23.4 Die Nachhaltigkeitsbilanz der Grünen Gentechnik .....	484
23.5 Aussichten .....	494
23.6 Literaturverzeichnis .....	498

*Jürgen Hampel, Constanze Störk-Biber, Michael M. Zwick und Cordula Kropp*

24.	Landwirtschaft und Medizin – Antipoden bei der Wahrnehmung der Gentechnik in Deutschland .....	504
24.1	Einleitung .....	504
24.2	Das TechnikRadar .....	505
24.3	Gentechnik in Landwirtschaft und Ernährung .....	506
24.4	Laborfleisch – eine mögliche Alternative? .....	510
24.5	Medizin .....	512
24.6	Fazit .....	518
24.7	Literaturverzeichnis .....	520

*Angela Osterheider, Louise Herde und Lilian Marx-Stölting*

25.	Problemfelder und Indikatoren im Bereich der Gentechnologien: eine Synopse .....	523
25.1	Einführung: Motivation und Zielsetzung .....	523
25.2	Problemfelderhebung und Indikatorenanalyse im Bereich der Gentechnologien .....	524
25.3	Problemfelder und Indikatoren zu ihrer Beschreibung .....	526
25.4	Indikatoren im Bereich der Gentechnologien .....	540
25.5	Indikatoren im Bereich der Gentechnologien: ein Überblick .....	569
25.6	Literaturverzeichnis .....	573

*Angela Osterheider, Melanie Leidecker-Sandmann, Sarah Kohler, Volker Stollorz, Meik Bittkowski, Yannick Milhahn und Markus Lehmkuhl*

26.	Spotlight: Expert*innen auf dem Gebiet der SynBio. Eine Recherche unter Anwendung des ExpertExplorers .....	575
26.1	Einleitung .....	575
26.2	Definition wissenschaftlicher Expertise .....	576
26.3	Funktionsweise des ExpertExplorers .....	577
26.4	ExpertExplorer: Expert*innen auf dem Gebiet der SynBio .....	578
26.5	Fazit und Reflexion .....	582
26.6	Literaturverzeichnis .....	584
27.	Anhang .....	585
27.1	Abbildungen und Tabellen .....	585
27.2	Autorinnen und Autoren .....	588