

Der gefährdete Organismus

Biologie und Regierung der Gefahren am Übergang vom »Atomzeitalter« zur Umweltpolitik (1950–1970)¹

ALEXANDER VON SCHWERIN

Die Atompilze von Tausenden Bombenversuchen gehören zu den prägenden und bedrohlichsten Bildern der 1950er Jahre, dem Jahrzehnt, in dem das »Atomzeitalter« ausgerufen wurde. Der Begriff des »Atomzeitalters« bezog sich indes weniger auf die Bedrohung durch Atomwaffen, er beinhaltete stattdessen ein Fortschrittsversprechen: die Nutzung der Atomenergie für die Energiegewinnung, in Medizin, Forschung und in der industriellen Produktion.² Die politisch gewollte Ökonomie radioaktiver Stoffe brachte aber auch eine wachsende Bedrohung mit sich. Die Strahlengefahr war ein immanentes Problem des technischen Fortschritts, das die gesamte Bevölkerung und im Besonderen die an Zahl ständig steigenden strahlenbelasteten Arbeitsplätze betraf. Offen war, welche Rationalität und welche Strategien angewendet werden sollten. Die Strahlengefahr war deshalb ein drängendes Problem, dessen sich die nationalen Atomforschungsprogramme, wie sie in den USA oder in der BRD betrieben wurden, annahmen.³ Die Aufgabe der Experten – Atomphysiker, Ingenieure, Radiologen, Biophysiker, Strahlenbiologen sowie Juristen –, die nun in zahlreichen Kommissionen versammelt wurden, bestand darin, die Strahlengefährdung einzugrenzen und kontrollierbar zu machen. Im Grunde betraf die Arbeit dieser Wissenschaftler ein Problem, mit dem sich die industriellen Gesellschaften im gesamten 20. Jahrhundert konfrontiert sahen: Wie soll politisch damit verfahren werden, dass durch die wachsende Gefahrenwelt Industriearbeiter oder andere Bevölkerungsgruppen zunehmend Schaden erleiden und so das Gedeihen der technischen Zivilisation selbst bedroht wird? Die technischen Gefahren wurden auf diese Weise Teil biopolitischer Kalküle.

Der vorliegende, thesenhaft angelegte Aufsatz behandelt mit Röntgenstrahlen und solchen von radioaktiven Stoffen ausgehenden Strahlen einen

¹ Ich danke Christina Brandt und Florence Vienne für die intensive Diskussion des Beitrags und zahlreiche Anregungen.

² Markstein war das 1953 von Präsident Eisenhower verkündete Programm »Atoms for Peace«, mit dem die zivile Nutzung der Atomtechnik in jeder Hinsicht zum Ziel erhoben wurde. Radkau 1983, 78–80.

³ Radkau 1983.

Ausschnitt aus dem weiten Spektrum jener neuartigen, technischen Gefahrenquellen. In der hier eingenommenen politisch-epistemologischen Perspektive sind »Gefahren« allerdings keine ahistorischen Tatsachen.⁴ Die Geschichte der strahlenbiologischen Forschung zielt vielmehr auf die Wechselwirkung zwischen der Erforschung gefährdender Umwelteinflüsse und der auf diese angesetzten regulativen Rationalität. Diese Geschichte ist damit Teil des Projekts einer Genealogie der Gefahren, ihrer Regulation, aber auch ganz wesentlich ihrer *Produktivität* im Gefüge von Machtstrategien und -techniken.⁵

Mit der Verwissenschaftlichung des Gefahrendiskurses wurden die gefährdete Gesundheit der Bevölkerung und der bedrohte Körper des Industriearbeiters in einen biowissenschaftlichen Gegenstand verwandelt: den lebenden und durch seine Umwelt gefährdeten biologischen Organismus. Der »gefährdete Organismus« bildete den epistemischen Fluchtpunkt des Gefahrendiskurses. Im Grunde wurde ein allgemeines biologisches und medizinisches Problem neu verhandelt, in welcher Beziehung nämlich der Organismus zu seiner Umwelt steht. Das Wissen über die Verletzlichkeit oder auch Widerständigkeit des Organismus und im Weiteren über den im Industriezeitalter lebenden Menschen bildete damit eine neue Quelle für den Bestand humanwissenschaftlichen Wissens.

Zu diesem scheinbar eng umrissenen Problemfeld trugen unterschiedliche und teils konträre biowissenschaftliche und biomedizinische Forschungsansätze bei. So war die Erforschung der Strahlenwirkung ein multidisziplinäres Unternehmen. Allerdings wurden nur bestimmte der untereinander oft konkurrierenden Modelle der Strahlenwirkung bestimmend für die Rationalität, an der sich die Regulation der Strahlengefahr orientierte. Wie sich solche Hegemonien herausbildeten, kann die Wissenschaftsgeschichte aufzeigen. Es wird zu sehen sein, dass das Atomzeitalter ein Scharnier zwischen zwei Modellen der Strahlenwirkung bildete. Diese Modelle basierten auf einem grundlegend unterschiedlichen Verständnis vom Verhältnis zwischen Organismus und Umwelt. Das bis in die 1950er Jahre hinein bestimmende Gefahrenmodell, in dem der äußere Reiz den Organismus regierte, entstammte den 1920er Jahren. Dieses statische Modell wurde im Atomzeitalter allmählich durch ein dynamisches abgelöst. In der neuen Repräsentation der Strahlengefahr, wie sie sich in den 1960er Jahren durchsetzte, verkörperte der biologische Organismus nicht mehr das passive Opfer der Umwelteinwirkungen,

⁴ Darin unterscheidet sich der hier verfolgte Ansatz grundlegend von dem Becks in der »Risikogesellschaft«. Beck 1986; dazu auch Rose 2000, 95.

⁵ Eine Genealogie von Gefahr/Risiko wurde zuerst von François Ewald und Robert Castel angegangen. Ewald 1993; Castel 1981; siehe auch Rabinow 2004, 138–145.

sondern einen eigenständigen Akteur. Diese epistemische Transformation, die vor allem durch das molekularbiologische Modell der DNA-Reparatur bestimmt wurde, erlaubte Anfang der 1970er Jahre, den Strahlendiskurs in die Rationalität neoliberaler Präventionsstrategien zu übersetzen.

Bevor diese Entwicklung dargestellt wird, soll zunächst das Problem des gefährdeten Organismus verdeutlicht werden. Vor allem soll in einem Rekurs auf zwei unterschiedliche Praktologien, die gegenwärtige Experimentalforschung und Foucaults revidierte Machtanalyse, gezeigt werden, wie dieses Problem genealogisch zum zentralen Verknüpfungspunkt der epistemischen Modelle der Strahlenwirkung einerseits und der Gefahrenregulation andererseits wurde.

1. Der gefährdete Organismus, Episteme der Sicherheit und Strahlenhygiene

Der gefährdete Organismus ist ein Produkt des 19. Jahrhunderts, genauer: ein Produkt des Zusammentreffens von Industrialisierung, hygienischer Vorsorge und ihrer naturwissenschaftlichen Begründung. Die experimentelle Physiologie trat an, um am Organismus des Tiers die allgemeinen Lebensvorgänge zu erforschen – nicht ohne dabei die Funktionsweise des menschlichen Körpers im Blick zu haben.⁶ Bereits diese humanwissenschaftliche Perspektive machte den experimentell erforschten Organismus zu einem potenziell politischen Gegenstand. Eine typische zeitgenössische Erwartung lautete deshalb, dass »die Physiologie und die Hygiene ihr Licht der Regierungskunst zur Verfügung stellen« mögen.⁷

Unter dem Leitgedanken hygienischer Vorsorge stellte die experimentelle Physiologie eine Form des Machtwissens dar, das auf drängende Probleme der Zeit anwendbar war. An erster Stelle der Probleme standen die sozialen Folgen des Industrialisierungsprozesses.⁸ Verstädterung und Ausbeutung der Arbeitskraft gingen einher mit überfüllten Arbeiterquartieren, Abwasser- not, Lichtmangel und Ernährungsmängeln. Tanner und Sarasin kommen zu dem Schluss, dass die Hygiene, die sich seit den 1920er und 1930er Jahren des 19. Jahrhunderts in England und Frankreich entwickelte, nichts anderes als die systematische, wissenschaftliche und zugleich praxisorientierte Erforschung der Leib und Leben bedrohenden Gefahren des Industriali-

⁶ Bis dahin war der lebende Organismus Gegenstand philosophischer Reflektion und der klassifizierenden Naturforschung gewesen. Cheung 2000.

⁷ Zitiert nach Sarasin 2001, 114.

⁸ Göckenjan 1985, 46.

sierungsprozesses war.⁹ Tatsächlich half das hygienische Wissen, eine sehr weit in die physische Existenzweise weiter Bevölkerungsteile hineinreichende staatliche Regulations- und Eingriffsmacht zu errichten.¹⁰

Die auf die Probleme der Industrialisierung angewandten Strategien der »Regierungskunst« zielten darauf ab, die Unbilden von Unfällen, Zufällen und Mangelerscheinungen einzugrenzen. Die Rationalität, der sie folgten, war, die »Sicherheit des Ganzen vor seinen inneren Gefahren« zu erhöhen.¹¹ Am Horizont des gefährdeten Organismus standen damit die Dispositive der Sicherheit und ihre Technologien, wie sie Foucault in seiner Geschichte der modernen, auf den Bevölkerungskörper abzielenden Regierungskunst in den Blick genommen hat.¹² Sicherheit hieß in der biopolitischen Moderne nicht, Gefahren zu verbannen, sondern ihre Folgen und Risiken zu regulieren.¹³

Neben den sozialen Verwerfungen handelte es sich dabei auch um Gefahren, die aus der Technisierung der Arbeit und des Alltags resultierten. Zu diesen technischen Gefährdungsquellen gehörten etwa die Strahlen. Nachdem 1895 erstmals Röntgenstrahlen produziert und ein Jahr später die Wirkmächtigkeit radioaktiver Stoffe erkannt worden war, verbanden sich mit den wundersamen Strahlen schnell die verschiedensten Heilserwartungen. Die rasante Verbreitung der Strahlen reichte von der Röntgen- und Radiummedizin, der industriellen Verwendung von Leuchtstoffen bis zum diätetischen Konsum von radioaktiven Stoffen.¹⁴ Immer neue Bevölkerungsgruppen wurden damit aber auch den gefährlichen Eigenschaften von Strahlen ausgesetzt. Strahlen und Radioaktivität wurden deshalb zum Gegenstand hygienischer Vorsorge sowie biopolitischer Intervention. Rechtlich fassbar wurde dies erst 1925, als der Schutz der gewerblichen Unfallversicherung auf die Strahlenschäden der Beschäftigten in Röntgenlaboratorien und der Radiumindustrie ausgedehnt wurde.¹⁵

Die Behandlung der Strahlenschäden nach der Versicherungslogik verdeutlicht die epistemischen Grundlagen jeder Risikopolitik. Denn dass Schäden im Röntgenlabor überhaupt als Unfall verstanden werden konnten, war

⁹ Sarasin, Tanner 1998, 12.

¹⁰ Sarasin 2001, 114.

¹¹ Foucault 2003, 287–299, 294.

¹² Foucault 2004 passim und insbesondere 28–40, 72–76 und 87.

¹³ Deutlich macht dies jene Szene eines Verkehrsunfalls, mit der der »Mann ohne Eigenschaften« seine Zeitbetrachtung beginnt. Der anfängliche Tumult auf der Straße beruhigt sich in dem Moment, als ein Passant beruhigt: Es ist doch nur ein Unfall! Musil 1978 [1930], 11.

¹⁴ Zu nennen sind etwa radioaktive Bade- und Trinkkuren sowie Verwendung des Lichts als »diätetisches« Mittel in der Lebensreformbewegung. Dommann 2003; Möhring 2004, 318; Helmstädter 2005.

¹⁵ Moser 2002.

eine historische Leistung. Als die Unfallversicherung 1885 in Deutschland eingeführt wurde, bedeutete dies einen Einschnitt in der Rechtspraxis und der sozialen Ordnung. Als Prinzip politischen Handelns entsprach die Versicherungstechnik mithin einer globalen Transformation der Regierungsrationalität im Industriezeitalter: der Naturalisierung des gesellschaftlichen Geschehens.¹⁶ Die vermehrt auftretenden Schäden in der industriellen Gesellschaft waren als das ›natürliche‹ Resultat ihres alltäglichen Funktionierens aufzufassen. Der »Unfall« naturalisierte die Gefahren der Industriearbeit.

Diese neue Ordnung natürlicher und künstlicher Vorkommnisse war nur auf Grundlage eines epistemischen Einschnitts möglich, durch den überhaupt bestimmte Ereignisse als »Unfall« eintreten konnten und die Situation eines Berufsrisikos geschaffen wurde. Tatsächlich wurde der Unfall erst im Industriezeitalter in seiner probabilistischen Form ›geboren‹. Schicksal und Fügung, Patronatsprinzip und individuelles Haftungsrecht bestimmten bis dahin sozialpolitisch und juristisch den Umgang mit widrigen Ereignissen. François Ewald hat am Entstehungsprozess der gewerblichen Unfallversicherung akribisch die Bedingungen aufgezeigt, die ineinandergreifen mussten, bevor die gefährvollen Arbeitsbedingungen von Fabrikarbeitern, die sich häufig genug in der Havarie von Maschinen oder Vergiftungsfällen zeigten, *versichert* werden konnten.¹⁷ Das Modell der Gefahr, das in der Unfallversicherung wirksam wurde, war das Spiel des Zufalls, wie es durch Statistik und Wahrscheinlichkeitsrechnung zum Wirklichkeitsprinzip erhoben wurde – oder die »Zähmung« des Zufalls, wie Ian Hacking jenen epistemischen Bruch bezeichnet hat.¹⁸ Der Einsetzung der Versicherungstechnologie zur Regulierung derjenigen sozialen Probleme, die mit der Zahl invalider Industriearbeiter zunahmen, ging also eine Transformation des Wissens selbst voraus. Die Risiken und Gefahren der Industriearbeit wurden innerhalb eines historischen Gefüges geformt und waren ebenso wissenschaftlich wie machtformig.¹⁹ Auf diesem übergreifenden epistemisch-politischen Bruch basierte mithin die sozialpolitische Absicherung gewerblicher Strahlenschäden in der Unfallversicherung.

¹⁶ Lemke 1997, 212, 214.

¹⁷ Dies hieß, dass – *sozialpolitisch* – der Begriff von bedingten, aber nicht vorhersehbaren Ereignissen, – *juristisch* – eine pragmatische Entschädigungsregelung und zugleich – *epistemisch* – ein probabilistischer Typ von Rationalität zur Geltung kommen musste. Ewald 1993.

¹⁸ Hacking 1990.

¹⁹ Siehe auch Lemke 2000b, 34–36.

2. Wie wurde der gefährdete Organismus problematisiert? Eine Frage an die Mikrophysik der Strahlenforschung

Neben der Sozialversicherung wurde seit den 1920er Jahren verstärkt über die Entwicklung und Kodifizierung des Strahlenschutzes nachgedacht.²⁰ Damit wurde ein weiterer risikopolitischer – genauer: ein präventivpolitischer – Diskurs eröffnet, der jetzt in hohem Maße auf dem speziellen, allerdings heterogenen und oft gegensätzlichen Wissen der Strahlenforschung basierte. Der Diskurs über Strahlengefahren mobilisierte weitläufig Wissen bezüglich der Wirkung von Strahlen im menschlichen Körper. Dieses Wissen entstammte nicht nur den Erfahrungen, die in der Röntgentherapie und -diagnostik gemacht worden waren. Tiere, Pflanzen, Bakterien oder auch wässrige Lösungen wurden als Modelle herangezogen, um die im menschlichen Körper durch Strahlen ausgelösten biologischen Prozesse experimentell zu erforschen. Anfang der 1920er Jahre rangen bereits Chirurgen, Radiologen, Gynäkologen, Biophysiker, Botaniker und Genetiker mit ihren je eigenen Forschungsstilen um ein allgemeines Modell der biologischen Strahlenwirkung.²¹ Die historiografische Aufgabe ist analog zu jener epistemisch-politischen Konstellation der Sozialversicherung zu zeigen, wie die Modelle der Strahlenwirkung und die Rationalität der Präventivpolitik miteinander verknüpft waren. Welche Perspektive kann aber eine politisch-epistemologische Geschichte einnehmen, wenn sie es mit einem so heterogenen Feld wie dem der Strahlenforschung zu tun hat?

Die Antwort liegt in einer Philosophie des Ereignisses, die sowohl für die Mikrophysik der Wissenschaftspraxis als auch die Analyse der Regierungskunst den konstitutiven Fluchtpunkt darstellt. So zielte Ewald in seiner Geschichte der Unfallversicherung auf ein bestimmtes Ereignis, den historischen Moment, in dem durch die Verschränkung juridischer, sozialer und epistemischer Praktiken bestimmte Gegenstände gesellschaftlicher Konflikte zu Unfällen wurden. Mit dieser Fokussierung auf historische Ereignisse steht Ewald in der Tradition der Machtanalyse. So hebt auch Foucault hervor, dass seine Mikrophysik der Macht auf einer »Philosophie des Ereignisses« gründen müsse.²² Mit der Betonung der Ereignishaftigkeit

²⁰ Die frühen Regelungen zum Strahlenschutz blieben vage und auf die Arbeitswelt beschränkt. Übersicht in: Koelsch 1942.

²¹ In den 1920er Jahren kamen Strahlenchemiker hinzu, und selbst Klimatologen widmeten sich nun – unter einem hygienischen Interesse an den städtischen Lichtverhältnissen – eingehend der Strahlenwirkung. Schwerin 2008; Schneck 2001.

²² Foucault 1995, 37; siehe auch Ewald und Foucault in: Foucault 2003, 191–193. Zur »Mikrophysik« siehe Foucault 1976, 38.

geschichtlicher Formationen setzte sich Foucault kritisch von Ideologiekritik und Strukturalismus ab. In ähnlicher Weise wendet sich indes auch die am konkreten wissenschaftlichen Handeln orientierte Epistemologie dagegen, dass wissenschaftliche Objekte aus ihren strukturellen Bedingungen einfach ableitbar wären. In der »historischen Epistemologie«, wie sie Rheinberger entworfen hat, sind wissenschaftliche Objekte das Ergebnis eines unvorhergesehenen Bruchs mit der bisherigen Wahrnehmung.²³ Ihre Geschichte ist durch die ereignishaft mäandernden Wege technischer und »gegenseitiger Instruktionen« charakterisiert, die zu unvorhersagbaren Konstellationen oder »Konjunkturen« führen.²⁴ Die Geschichte der Wissensdinge ist, so gesehen, selbst eine Mikrophysik der praktologischen Herleitung epistemischer Konjunkturen.

Die Frage ist, wie die Mikrophysik der Wissensobjekte und die der Machtwirkungen ineinandergreifen und wie sich dabei das Wissen eines so heterogenen Feldes wie der Strahlenforschung in einer spezifischen Strategie der Regulation bündelt. Statt den mühsamen Weg einer »aufsteigenden Machtanalyse«, die von verstreuten und mikroskopischen Machtrelationen zu einem makroskopischen Bild führt, zu verfolgen,²⁵ hat Foucault einen Behelf vorgeschlagen. In seinen letzten Arbeiten hat er gewissermaßen eine methodische Schneise in das Geflecht der Machtrelationen geschlagen und sich dem strategischen Ausgangspunkt von *Herrschaft* zugewandt.²⁶ In Ewalds Genealogie der Unfallversicherung markierte dieser Punkt eine »epistemologische Konjunktur«.²⁷ In Foucaults Begrifflichkeit wurde dieser Formationspunkt zur »Problematisierung«. Gemeint ist in jedem Fall der Ursprung derjenigen – strategischen – Rationalität, welche in der Lage ist, ein neues herrschaftsförmiges Tableau von Macht- und Regierungstechniken zu instruieren.

Mit dem Konzept der Problematisierung hatte Foucault nichts weniger im Sinn, als sein analytisches Instrumentarium neu auszurichten. Die Problematisierung beschreibt die Art und Weise, *wie* die Dinge und Gegenstände

²³ Rheinberger bezieht sich auf Bachelard, der bereits an die Stelle allgemeiner Normen oder Bedingungen des wissenschaftlichen Denkens den »epistemologischen Akt« setzte. Bachelard nach Rheinberger 2006, 47. Auch die Wissenssoziologie von Bruno Latour operiert mit geschichtlicher Ereignishaftigkeit. Latour 2000, 374 u. 184–185.

²⁴ Rheinberger 2004, 62; Rheinberger 2006, 49.

²⁵ Foucault entwarf das Bild einer »aufsteigenden Machtanalyse«. Foucault zitiert in Wahrig 2004, 657.

²⁶ Die fehlende Unterscheidung von Macht und Herrschaft bei Foucault ist immer wieder kritisiert worden. Mit der unter Gouvernamentalität firmierenden Machtanalyse hat Foucault nun aber die Funktionsweise staatlicher, d. h. herrschaftsförmiger Macht behandelt. Lemke 1997, 309.

²⁷ Ewald 1993, 57.

gesellschaftlicher Auseinandersetzungen zu Problemen gemacht werden.²⁸ Sie bildet das strategische Scharnier zwischen dem immerwährenden »Spiel von Wahrheit und Macht« auf der einen Seite und den Technologien der Regierung und Menschenführung auf der anderen. Nach Foucault entstehen Problematisierungen als Antwort auf eine Anzahl von Schwierigkeiten.²⁹ Die Problematisierung öffnet mithin »einen politisch-epistemologischen Raum«, innerhalb dessen Lösungs- und Bearbeitungsstrategien für eine politische und gesellschaftliche Problemlage Gestalt annehmen.³⁰ Die Aufgabe der Genealogie ist es dann nachzuvollziehen, wie sich am Kreuzungspunkt heterogener Serien von Handlungsformen und Ereignissen eine neue strategische Rationalität ausbildet. Die unvorhergesehenen – eben ereignishaften – Konfigurationen, denen nachgegangen werden muss, umfassen moralische Reflexionen, juristische Regelungen, politische Akteure, ökonomische Bedingungen, aber, so wäre hinzuzufügen, auch die epistemischen Dinge und die Geschichte der epistemisch-technischen Konjunkturen.³¹

Damit ist der Punkt erreicht, auf den eine politisch-epistemologische Geschichte der Strahlengefahren hinausläuft. Sie führt ein heterogenes Ensemble von Praktiken zusammen, das langfristige Verschiebungen in der

²⁸ Foucaults Ende der siebziger Jahre neu formulierte methodische Frage lautet deshalb in Kürze, wie – oder »als was« – die Gegenstände des Wissens zum Gegenstand der Reflexion – das heißt problematisiert – werden. Lemke 1997, 340–343; siehe auch Foucault 2005, 826. Es muss betont werden, dass die Problematisierung nur eine Denkform, eine politische Rationalität ist. Tatsächlich hatte Foucault eine Geschichte des Denkens vor Augen; doch in Abgrenzung zu mentalitäts- und ideengeschichtlichen Ansätzen verbinden sich in der Geschichte der Problematisierungen die Fäden verschiedener »diskursiver und nicht-diskursiver Praktiken«. Lemke 1997, 341. »Die archäologische Dimension der Analyse bezieht sich auf die Formen der Problematisierung selbst; ihre genealogische Dimension bezieht sich auf die Formierung der Problematisierungen ausgehend von den Praktiken und deren Veränderungen.« Foucault 1989, 19.

²⁹ Foucault 2005, 732–733. Die Problematisierung öffnet mithin »einen politisch-epistemologischen Raum«, innerhalb dessen Lösungs- und Bearbeitungsstrategien für eine politische und gesellschaftliche Problemlage Gestalt annehmen. Lemke 2000b, 32. Eine interessante Überschneidung ergibt sich damit zwischen dem denkgeschichtlichen Begriff der Problematisierung und Foucaults materialem Begriff des Dispositivs. Beide stellen eine strategische Situation her und verweisen dabei auf eine »dringende Anforderung« bzw. einen »Notstand«. Foucault 2003, 393 bzw. Foucault 1978, 120. Siehe auch zur Epistemologie des Notstands den Beitrag von Heiko Stoff, Seite xxx.

³⁰ Lemke 2000b, 32.

³¹ Wie die epistemischen Konjunkturen so beanspruchen die Konfigurationen, aus denen eine Problematisierung hervorgeht, einen »historischen Raum bedingter Kontingenz«. Rabinow 2004, 41. Die Begriffe müssen an dieser Stelle allerdings auseinander gehalten werden. Die von Rabinow mit Blick auf die Problematisierung eingeführten »assemblages« und Rheinbergers Konjunkturen sind strukturgleich, insofern beide auf eine »gezähmte« oder »historisch situierte« Kontingenz abheben. Während aber die »assemblages« ganz allgemein das Zusammentreffen von Akteuren, Dingen und Institutionen zu neuen Gefügen meint, zielt die »Konjunktur« spezifisch auf die Technikalität der wissenschaftlichen Objekte. Rabinow 2004, 115; Rheinberger 1997, 135.

Rationalität und den Strategien, die die Regulierung gefährlicher Situation strukturierten, mitbedingte. Sie umfasst gleichermaßen die Modernisierung des Arbeitsschutzes, die politischen Strategien und rechtlichen Prinzipien von Gesundheits-, Präventions- und Bevölkerungspolitik und die Verschiebungen in den Modellen der Strahlenwirkung. Ihr Ziel ist es nicht aufzuzeigen, wie Gefahren als existierende Objekte repräsentiert oder umgekehrt, wie sie aus dem Nichts heraus konstruiert wurden, sondern vielmehr, wie die gefährlichen und gefährdeten Dinge und genauer: ihr Verhältnis problematisiert wurden. Die Frage ist also im Folgenden, welche Art von Problem aus dem Wissen über die Strahlengefahr resultierte.

3. Der reizbare Organismus und zerbrechliche Stabilität der Gene – das Gefahrenmodell des Atomzeitalters und seine Genealogie in den 1930er Jahren

In den 1950er Jahren, dem eingangs charakterisierten Atomzeitalter, rückte die Gefahr der Strahlen in die öffentliche Aufmerksamkeit und wurde zu einem vordringlichen Problem staatlicher Regulation. Die Furcht vor einem atomar geführten Krieg und die Bedrohung durch den ubiquitären Fallout der oberirdischen Atomwaffentests betraf die gesamte Bevölkerung. Mit Maßnahmen wie der ständigen Messung und Registrierung der Umweltradioaktivität und der Überwachung von Nahrungsmittelkreisläufen wurde versucht, die unsichtbaren Gefahren zu kontrollieren.³² Es war darüber hinaus aber vor allem die ökonomisch-technische Modernisierungserwartung des Atomzeitalters, die die Bevölkerung zum Gegenstand strahlenhygienischer Regulationspolitik machte. Erwartet wurde, dass neben der Energienutzung die Produktionsmittel insgesamt auf der Basis radioaktiver Techniken revolutioniert werden könnten. Für einige Jahre schien sich diese Erwartung zu erfüllen. So wurden die in den ersten Atomreaktoren massenhaft produzierten radioaktiven Isotope zur unentbehrlichen Ressource für Medizin und die biologischen Wissenschaften.³³ Aber auch der Isotopenhunger der Industrie, die Radioisotopen etwa bei der Produktionsüberwachung einsetzte, stieg beständig und überflügelte 1958 den Umsatz von Kliniken und Forschungslaboren zeitweilig.³⁴ Man ging davon aus, dass bald knapp 4% der Bevölkerung täglich Umgang mit radioaktiven Stoffen haben würden.³⁵

³² Abele 2002.

³³ Rheinberger 2006, 251.

³⁴ N.N., Die Verwendung radioaktiver Isotope, Universitätsarchiv Freiburg, C47, 57.

³⁵ Ebd.

Die Regulation der Strahlengefahren bestand im »Atomzeitalter« zusammengefasst aus der Kombination eines entfalteten Regimes arbeitshygienischer Maßnahmen und des Versicherungsschutzes.³⁶ Das Prinzip, das dabei die unterschiedlichen Regelungen und Maßnahmen leitete, war die Bestimmung von Grenzwerten, also höchstzulässigen Strahlendosen, die einem Individuum an seinem Arbeitsplatz, aber auch der Bevölkerung im Ganzen zugemutet werden konnten.³⁷ Grenzwert war jedoch nicht gleich Grenzwert. Unterschieden wurden die »zulässige Dosis«, die »Maximumdosis« und die »Toleranzdosis«.³⁸ Die Praxis der Grenzwertbestimmung oder genauer: Die prinzipielle Konstruktion des Grenzwertkonzepts richtete sich nach dem vorherrschenden Modell der Strahlenwirkung. In den 1950er Jahren war dies ein genetisches Strahlenmodell. Die Genetiker avancierten in diesen Jahren zu den entscheidenden biomedizinischen Experten, wie Karen Rader am Beispiel der US-Kommission zur Bestimmung biologischer Effekte der radioaktiven Strahlung (BEAR) zeigt.³⁹ Die Genetiker warnten, dass noch die geringsten Strahlendosen Mutationen des Erbgutes auslösen könnten. Das Szenario unbemerkt sich ansammelnder Mutationen steigerte die Wahrnehmung der Gefährdungslage um eine weitere Dimension, nämlich die Degeneration künftiger Generationen.⁴⁰ Im Namen der Bevölkerungsgesundheit und im Gegensatz zu Radiologen und Medizinern plädierten die Genetiker deshalb für die striktesten Grenzwerte und erreichten damit eine sukzessive Verschärfung der Bestimmungen.⁴¹

Die genetische Objektivierung der Strahlenwirkung wurde im Atomzeitalter das bestimmende Gefahrenmodell, ihre Wurzeln liegen jedoch in den 1930er Jahren, genauer: an der Schnittstelle von physikalischer und biologischer Strahlenforschung. Die technischen Probleme der Röntgentherapie hatten Physiker gezwungen, sich mit der Wirkungsweise von Strahlen im Körpergewebe und Zellen zu befassen. Für diese medizinischen Physiker war klar, dass es sich bei der Wirkung der Strahlen in einer Zelle um ein gesetzmäßiges physikalisches Geschehen handeln musste.⁴² Anfang der 1930er Jahre suchten sie für ihr Projekt Unterstützung bei Biologen. Die Verbindung

³⁶ Eine Übersicht gibt bislang am besten Walker 2000.

³⁷ Nowotny 1979, 200–203.

³⁸ Walker 2000; Dry 2006, 199–200; zu der Diskussion siehe auch Radkau 1983, 350–351.

³⁹ Rader 2004, Kapitel 6.

⁴⁰ Das Committee on the Effects of Atomic Radiation der National Academy of Sciences (BEAR) veröffentlichte 1956 einen Bericht, der neben einem englischen Bericht Ausgangspunkt und Grundlage für spätere internationale Richtlinien der WHO wurde. Er forderte mit Bezug auf die genetischen Gefahren eine maximale Senkung der Strahlenbelastung. Hamblin 2007, 151–168.

⁴¹ Walker 2000, 10–20.

⁴² Schwerin 2008.

zwischen Physik und Biologie gilt als Initialzündung einer methodischen Modernisierung der Biologie, die schließlich die Molekularbiologie hervorbrachte. Für die Frage der Strahlenwirkung bedeutete dies, dass das Problem der Physiker genetisch reformuliert wurde. Die physikalisch-biologische Forschung konzentrierte sich von nun an ganz auf die künstliche Auslösung von Mutationen.⁴³ Die physikalisch-genetische Objektivierungsform fand ihren Ausdruck in der so genannten Dosis-Wirkungskurve (vgl. Abb. 1). In ihrer »idealen« Form – einer Geraden – zeigte sie, dass die Mutation ein rein physikalisches Ereignis war. Der schlagende Beweis dafür war im Verständnis der Biophysiker, dass die Veränderungen in der Erbsubstanz unmittelbar und ohne zeitliche Verzögerung auf die Bestrahlung folgten. Biophysiker und Genetiker argumentierten gleichermaßen, dass in dieser engen Abfolge zwischen Strahleneinfall in der Zelle und Strahlentreffer schlicht keine Zeit für weitere chemische, physiologische oder biologische Prozesse in der Zelle blieb.⁴⁴ Dieses Zeitregime wurde für die physikalisch-genetische »Treffertheorie« zur essentiellen Frage.

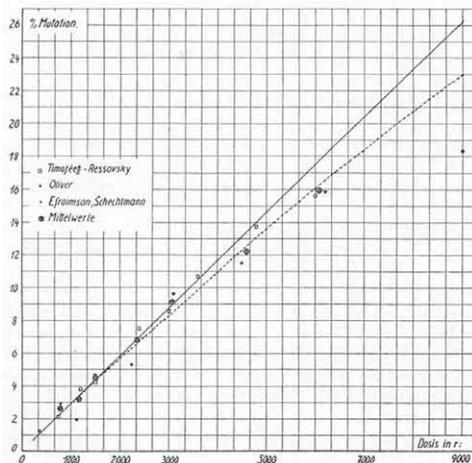


Abb. 1: Die Dosis-Wirkungs-Kurve ist in der physikalisch-genetischen Objektivierung der Strahlengefahr eine Gerade. Das dargestellte Schema wurde immer wieder reproduziert, um zu illustrieren, dass Strahlen unmittelbar und unvermeidlich zu genetischen Schäden führen.

In: Karl G. Zimmer, »Ein Beitrag zur Frage nach der Beziehung zwischen Röntgenstrahlendosis und dadurch ausgelöster Mutationsrate«, *Strahlentherapie* 51, 1934, 179 – 184, hier: 181

⁴³ Diese Darstellung basiert auf meinem derzeitigen Forschungsprojekt über die DFG und biologische Strahlenforschung, das als Monografie erscheinen soll.

⁴⁴ Diese physikalistische Interpretation wurde nicht zufällig durch die biologischen Modelle der Genetik gestützt. Die Fruchtfliege *Drosophila* oder Pflanzen waren gerade so ausgewählt, dass sie vor allem direkte und eindeutige Strahlenwirkungen sichtbar machten.

Das genetische Strahlenmodell repräsentierte auf diese Weise ein bestimmtes Bild von der genetischen Substanz. Dieses Bild war das einer stabilen Einheit, zu deren Eigenschaften allerdings eine besondere Fragilität gehörte. Gene besaßen zwar eine ausgeprägte Stabilität gegenüber physiologischen Einflüssen der Zelle und den biologischen Bedingungen der Umwelt. Diese Abkopplung des biologischen Erbes von den richtenden Einflüssen der Umwelt unterschied gerade die Mendelgenetik von der Umweltmächtigkeit, wie sie etwa Lamarckisten vertraten. Tatsächlich maßen aber auch die Genetiker der 1930er Jahre der Umwelt eine Macht zu, die im Gegensatz zur Lamarckistischen Vererbung allerdings in erster Linie eine bedrohliche zu sein schien. Die Irritationen der Umwelt konnten das Erbmaterial in nicht voraussagbarer Weise verändern. Zudem galten Mutationen als unmodifizierbar und irreparabel. Die genetisch-physikalische Objektivierung der Wirkung von Strahlen spitzte im Grunde die Ordnung des mechanischen Organismusbildes, wie es bereits das 19. Jahrhundert geprägt hatte, zu.⁴⁵ Während die Körper im mechanischen Verständnis auf die Reize der Umwelt wie Organmaschinen reagierten, machten die Strahlenmutationen den Organismus zum bloßen Spielball einer launischen Umwelt.⁴⁶

Der eigentliche Charakter dieser Schicksalsmächtigkeit wurde mit jedem neuen Experiment der Genetiker deutlicher. Hinter der launischen Umwelt trat die Mächtigkeit der neuen künstlichen Umwelt des Menschen hervor. In der Objektivierung von Genetik und Physik wurde der Röntgenapparat zu einer unmittelbaren und unbeeinflussbaren Gefahrenquelle. Die Mutationsgefahr entsprach damit den Unfallgefahren, denen Techniker oder Radiumarbeiter in der Umgebung ihres Labor- oder Fabrikalltags ausgesetzt waren. Die durch das strahlengenetische und biophysikalische Gefahrenmodell angeleitete Problematisierung brachte den strahlengefährdeten Organismus also in die Form des industrialisierten und durch den Unfall gefährdeten Körpers. Die Vorstellung von einem durch die fragile Konstitution der Gensubstanz grundsätzlich irritierbaren Organismus ließ das Milieu zum strategischen Ziel von Regulierungsstrategien werden und beförderte eine disziplinäre Präventionsstrategie.⁴⁷

⁴⁵ Rasmussen 1997, 281; Sarasin 2001, 20.

⁴⁶ In der modernisierten physikalisch-theoretischen Perspektive waren die Mutationen nicht das zwangsläufige Ergebnis der Strahleneinwirkung; sie waren vielmehr ein quantenmechanisches Ereignis, das nur mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit vorausgesagt werden konnte.

⁴⁷ Diese Strategie könnte anhand des Parks neuer Gerätschaften und Baulichkeiten aufgezeigt werden, der den Arbeitsplatz im Atomzeitalter prägte, sowie den Verhaltensabläufen, die Strahlenarbeitern antrainiert wurden.

4. Die Chemie des Atomzeitalters und der innere Schutz des Organismus (1940–1960)

In einer genealogischen Sicht auf die Gefahrenregulation erscheint das Atomzeitalter als Durchgangstation zwischen zwei verschiedenen Formen der strahlenhygienischen Rationalität. Die Regulierungsstrategie des Atomzeitalters war das eben skizzierte fürsorgerische Präventionsmodell, das sich auf eine genetisch-physikalische Objektivierungsform stützte. Unterhalb dieser akzeptierten gesundheits- und arbeitspolitischen Strategie bahnte sich jedoch eine Transformation des Strahlenwissens an, die eine Serie von Verschiebungen im epistemisch-politischen Rational instruieren sollte. Den Kern dieser Transformation bildete eine biochemische Reformulierung der Strahlenwirkung. Wie der Strahlenbiologe Alexander Hollaender zu Beginn der 1960er Jahre ausführte, hatten die Konzepte der Strahlenwirkung zwar lange auf einer simplen, physikalischen Interpretation von Strahlenschäden basiert, seit Ende der 1940er Jahre habe sich diese Sichtweise jedoch verändert und sei allmählich durch biochemische Vorstellungen ersetzt worden.⁴⁸

Im biochemischen Strahlenmodell kamen jetzt Ansätze zur Geltung, die im Feld der Strahlenforschung bislang deshalb randständig geblieben waren, weil sie dem Zeitregime der Treffertheorie nicht gefolgt waren.⁴⁹ War aber einmal die zeitlich-mechanische Kopplung zwischen Strahlentreffer und Mutation gelöst, öffnete sich dazwischen ein Raum, der voller chemischer und physiologischer Unvorhersehbarkeiten steckte. Ein Beispiel dafür sind die britischen Kampfgasversuche während des Zweiten Weltkriegs. Im Verlauf der geheimen Experimente mit Senfgas wurde deutlich, dass auch chemische Agenzien Mutationen auslösen konnten. Schwerwiegend in den Augen der Genetiker war, dass sich der chemisch induzierte Mutationsprozess nicht mehr elegant mit der Dosis-Wirkungskurve der Treffertheorie beschreiben ließ.⁵⁰ Irritiert lenkten die Genetiker ihre Aufmerksamkeit verstärkt auf das Innenleben der Zelle und die chemischen Prozesse. Dieser Trend verstärkte sich in den 1950er Jahren.⁵¹

⁴⁸ »The early concept of the mechanism of radiation effects which was based on a simple, physical interpretation of radiation damage, i. e. the effect on the biological effect is direct, it is immediate, irreversible and not preventable, has in the last twenty years been replaced by a more biological, or better biochemical, interpretation.« Hollaender in Sobels 1963, v.

⁴⁹ In der Argumentation des UN-Berichts zur Strahlenbelastung wird dieser Zusammenhang beispielhaft deutlich. WHO 1960, 290.

⁵⁰ Auerbach 1976, 9–10.

⁵¹ Eine beeindruckende Liste des Spektrums (bio-)chemischer Ansätze findet sich in: WHO 1960, 302–308, 333–339.

Der nun geöffnete physiologische und biochemische Raum versprach neue Formen der Kontrolle. »Prophylaxe« und »Erholung« waren die Stichwörter. Eine prophylaktische Möglichkeit tat sich etwa mit der Entwicklung von chemischen »Strahlenschutzstoffen« auf.⁵² Sowohl die Atomic Energy Commission der USA wie auch die Deutsche Atomkommission ließen mit Priorität Ansätze erforschen, wie in die Zellphysiologie und Biochemie des Körpers eingegriffen werden konnte. In ähnlicher Weise eröffnete das Konzept der Erholung die Perspektive auf eine in den Körper hineinverlagerte Intervention. Das von Medizinern formulierte Prinzip stieß zunächst auf breite Skepsis.⁵³ Aus unerwarteter Richtung erhielt es allerdings Unterstützung: aus der Molekularbiologie. Deutlich wurde dabei einmal mehr, dass das Feld der Mutations- und Strahlenforschung im Wandel begriffen war. Zum Ausdruck kam dies 1964 mit der Gründung der Zeitschrift »Mutation research«.⁵⁴ Erklärtes Ziel der Zeitschrift war es, die noch tastenden Arbeitszusammenhänge von molekularen Biologen, Biochemikern, Mikrobiologen, Genetikern und Strahlenbiologen zu festigen.⁵⁵

Die biochemische Reformulierung der Strahlenwirkung war verheißungsvoll, denn mit dieser epistemischen Verschiebung wurde das Körperinnere als möglicher Interventionsraum der Strahlenhygiene entdeckt. Die sich ändernde Problematisierung des strahlengefährdeten Organismus schien damit auf spezifische Schwierigkeiten zu antworten. Das Atomzeitalter sah sich mit einer neuen Gefahrendimension konfrontiert, die aus dem atomaren Fallout der Atomwaffentests und der Vision einer mit radioaktiven Techniken durchdrungenen Produktion resultierte. Man hatte es nun mit einer neuen Problemlage und einer ubiquitären Gefahr zu tun. Die Frage war deshalb, an welcher Stelle effektivere Kontroll- und Interventionsformen ansetzen konnten.

Es wäre jedoch verkürzt und sogar falsch, wollte man die neuen Strahlenmodelle einfach als Ergebnis der Anforderungen des Atomzeitalters bzw. gelungener Forschungssteuerung und -planung durch die Atomkommissionen verstehen.⁵⁶ Die neue strategische Rationalität, die auf Prophylaxe und

⁵² Hug 1963, 145–169.

⁵³ Die Vorstellung, ein strahlengeschädigter Organismus könne sich erholen, leitete sich aus klinischen Beobachtungen über den Verlauf somatischer Beschwerden bei der Strahlenkrankheit ab. Die physiologischen Grundlagen für die Erholung von erlittenen Strahlenschäden lagen jedoch im Dunkeln. WHO 1960, 62–63.

⁵⁴ Christina Brandt beschreibt, wie molekulare Biologen in den 1950er Jahren auch in der Mutationsforschung aktiv wurden. Brandt 2004, 216–220.

⁵⁵ Vorwort in *Mutation Research* 1, 1964.

⁵⁶ Anders gesagt, ist eine neue Problematisierung nicht das Ergebnis einer direkten Bedingungsverhältnisse. Die Ereignisserie der Episteme lässt sich nicht vorherbestimmen.

Erholung setzte, markierte einen Kreuzungspunkt heterogener Einflüsse: herkömmlicher biophysikalischer Strahlenforschung, der bislang marginalisierten Strahlenchemie, molekularbiologischer Forschungsansätze und neo-bevölkerungspolitischer Zielsetzungen. Die epistemischen Transformationen konnten unter der gegebenen gesellschaftlichen Problemlage gedeihen, blieben aber das unvorhergesehene Ergebnis einer »Ökonomie der epistemischen Verschiebungen«.⁵⁷

5. Von der »recovery« der Bakterien zur DNA-Reparatur: Molekularisierung des gefährdeten Organismus (1950–1970)

Der mysteriöse Umstand, dass das Wissen verschlungenen Wegen folgt, zugleich aber auf die Politik zu antworten scheint, wird mit der Entwicklung des biologischen Strahlenmodells verständlicher. Dieses nahm von vielen Strahlenexperten unbemerkt bereits im Verlauf der 1950er Jahre Konturen an. Nach diesem Modell war die Strahlenwirkung nicht bloß chemisch, sondern in erster Linie als ein »zellulärer Prozess« zu verstehen.⁵⁸ So sensationell diese Annahme schon aus biologischer Sicht sein musste, so grundlegend unterschied sich die Bedeutung des biologischen Strahlenmodells von den vorherigen Problematisierungen. Die Annahme des biologischen Strahlenmodells, dass Zellen aktiv auf äußere Irritationen reagieren könnten, lief dem bisherigen Denkansatz völlig entgegen und revidierte die bisherige Trennung des Problems in aktive Umweltagenzien und den passiven, erleidenden Organismus.⁵⁹

Nachdem Anfang der 1950er Jahre klar geworden war, dass die DNA der lang gesuchte Erbrträger war, waren sich die Forscher schnell einig, dass Mutationen in der Veränderung einzelner Bausteine der DNA bestehen mussten.⁶⁰ Die Sensation des biologischen Strahlenmodells, das sich in den 1950er Jahren erst langsam und zunächst von vielen Wissenschaftler/innen unbeachtet durchzusetzen begann, bestand aber darin, dass es so etwas wie eine molekulare Maschinerie geben musste, die die Strahlenschäden an der DNA selbst bearbeiten und beheben konnte (vgl. Abb. 2). Den ersten Berichten, die die Existenz solcher molekularer Reparaturmechanismen nahe legten, wurde allerdings weder von Molekularbiologen noch von Strahlenbi-

⁵⁷ Rheinberger 1997, 4.

⁵⁸ Kimball in Wolstenholme/O'Connor 1969, 1.

⁵⁹ Auch in der Anwendung von Strahlenschutzstoffen war der Organismus noch auf eine passive Rolle reduziert gewesen.

⁶⁰ Brandt 2004, 216–220.

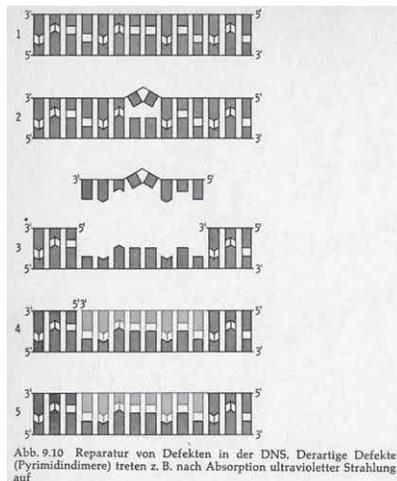


Abb. 2: Reparatur von Defekten in der DNS. Strahlen haben eine Veränderung der Basenabfolge in der DNS bewirkt. Darauf wird ein Teilstück der DNS ausgeschnitten und durch einen intakten Strang ersetzt.
In: Wolfgang Laskowski & Wolfgang Pohl. *Biophysik II. Eine Einführung für Biologen, Mediziner und Physiker*, Stuttgart 1974, 312.

ologen besondere Beachtung geschenkt.⁶¹ Die neuartigen Phänomene wurden vielmehr in einem experimentellen Raum zwischen Molekularbiologie und Strahlenbiologie erzeugt.⁶² In einer Zone zwischen diesen Forschungsbereichen wurden die strahlenbiologischen Techniken und molekulargenetischen Modelle zu einem hybriden Experimentalsystem vermischt.

Einer der frühesten Hinweise, der diesem hybriden Experimentalraum entstammte, fand sich in den strahlenbiologischen Arbeiten von Alexander Hollaender. Der schon erwähnte Strahlenbiologe hatte 1930 seine Karriere als physikalischer Chemiker begonnen.⁶³ Angeregt durch Experimente von Bakteriologen, begann Hollaender damit, Bakterien mit UV-Licht zu behandeln.⁶⁴ Für die Strahlenbiologie war diese experimentelle Konfigu-

⁶¹ Dieser Umstand ist bezeichnend für das Verhältnis von molekularer Biologie und Strahlenbiologie zu dieser Zeit. Die »gewöhnlichen« Strahlenbiologen beharrten auf ihrem angestammten Experimentalsystem, das allerdings »blind« für die neuen Mechanismen war. Umgekehrt nahmen die Molekularbiologen von den neuen »strahlenbiologischen« Phänomenen keine Notiz, da sie vorab die Strahlenbiologen für »mediocre scientists« hielten, von deren Methoden – »to repeat survival curve after survival curve« – nichts mehr zu erwarten war. Friedberg 1997, 20–21.

⁶² Dieser Umstand mag auch erklären, dass die DNA-Reparatur in der Geschichte der Molekularbiologie bislang nur am Rande Beachtung fand. Siehe etwa Morange 1998, 237.

⁶³ Setlow 1987, I.

⁶⁴ Da sich UV-Strahlen im weiten Spektrum elektromagnetischer Wellen von den Röntgenstrahlen nur durch ihre geringere Energie unterschieden, sah Hollaender im UV ein mögliches

ration ungewöhnlich. 1935 machte Hollaender indes Beobachtungen, die ihn zur Spekulation über ungeahnte Fähigkeiten von Bakterien verleiteten. Holländer war überzeugt, dass sich die Bakterien von der Strahlenwirkung erholen konnten; er sprach von »recovery«.⁶⁵ Bakterien und UV wurden folglich zu den wichtigsten technischen Instruktoren des neuen epistemischen Dings. Denn nicht nur für Hollaender versprach die Kombination von Mikroorganismen und den »sanften« UV-Strahlen einen neuen Zugang zu alten Problemen. Eine neue Generation von Forschern trat in den 1930er und 1940er Jahren mit dem Interesse an, die Gene und ihre Funktion an einfachen biologischen Systemen zu untersuchen.⁶⁶ Unter diesen Pionieren der Molekularbiologie war der Mediziner und spätere Nobelpreisträger Salvadore Luria, der in seinen Experimenten Bakterien-infizierende Viren, sogenannte Bakteriophagen, verwendete. Darüber hinaus benutzte Luria, wie er sich ausdrückte, UV-Strahlen »as a microsurgical tool to analyze the properties and growth of bacteriophages«.⁶⁷ Ähnlich wie Hollaender zuvor beobachtete Luria 1946 in seinem Phagen-Bakterien-System »something quite unexpected«.⁶⁸ Durch UV-Strahlen vermeintlich getötete Phagen wurden, nachdem sie in Bakterien eingeschleust worden waren, wieder aktiv. Luria nannte das Phänomen »Reaktivierung«.

Die Vorstellungen, die sich Luria und andere Molekularbiologen über die Reaktivierung machten, bewegten sich zunächst innerhalb des probabilistischen und mechanischen Genkonzepts der alten Genetik.⁶⁹ Die verbreitete Annahme war, dass die Reaktivierung auf dem zufälligen Austausch von Genomabschnitten zwischen verschiedenen Individuen beruhte – ein unter Bakteriengenetikern bekanntes Phänomen.⁷⁰ Der Austausch etwa von einem mutierten Virengen durch ein gesundes Bakteriengen war mit diesem Genkonzept vereinbar, nicht aber die Reparatur eines Gens.⁷¹ Die Molekularbiologen versprachen sich folglich von der Reaktivierung keine weiteren

Instrument, die Strahlenwirkung besser zu quantifizieren. Hollaender hoffte vor allem, Aufschluss über die heikle Frage nach der stofflichen Substanz der Gene zu bekommen. Hollaender 1986, 9–10.

⁶⁵ Friedberg 1997, 18–19.

⁶⁶ Brandt 2004, 59.

⁶⁷ Luria zitiert nach Friedberg 1997, 22. Diese Versuche waren Teil der Mutationsexperimente von Luria und des Biophysikers Max Delbrück, die sie zum Nobelpreis führten.

⁶⁸ Fischer 1985, 144.

⁶⁹ Es ist verschiedentlich darauf aufmerksam gemacht worden, dass gerade die Forscher, die auf der Spur einer molekularen Biologie waren, an der Vorstellung der Gene als statische und unveränderliche Einheiten festhielten. Rasmussen 1997, 281; Brandt 2004, 21–22.

⁷⁰ Friedberg 1997, 22–23.

⁷¹ Die verbreitete Annahme war, dass die Reaktivierung auf dem zufälligen Austausch von Genomabschnitten zwischen verschiedenen Individuen beruhte – ein unter Bakteriengenetikern bekanntes Phänomen. Friedberg 1997, 22–23.

Erkenntnisse und hielten sie schlicht für »boring«. ⁷² Anfang der 1950er Jahre waren es nur einzelne Strahlenforscher und Biochemiker, die hinter der Reaktivierung mehr als den zufälligen Austausch von Genen vermuteten. Sie verglichen das Phänomen zunächst mit der chemischen Beeinflussbarkeit des Mutationsvorganges durch Strahlenschutzstoffe. ⁷³ Mitte des Jahrzehnts erschienen dann erstmals Arbeiten, die die Reaktivierung auf die Aktivität von spezialisierten Enzymen zurückführten. ⁷⁴ Wenn Enzyme Strahlenschäden der DNA beheben konnten, bedeutete das, dass diese Vorgänge Teil der zellulären Regulation waren. Anfang der 1960er Jahre etablierte sich deshalb im Sprachgebrauch der Forscher der Ausdruck »Reparatur« bzw. »DNA-repair«. Er machte mit einem Schlag deutlich, dass Mutationen vom quantenphysikalischen Zufallsereignis zu einem originär biologischen Objekt geworden waren. Zugleich evozierte »Reparatur« eine Denklogik, die nicht mehr die der Prävention oder Prophylaxe war.

Dass neben der geschilderten epistemisch-technischen Konjunktur auch die Kontrollinteressen des Atomzeitalters den unscharfen Ursprungsort der DNA-Reparatur bestimmten, verdeutlicht ein drittes Beispiel. Der Berliner Biologe Walter Harm war einer der Ersten, dem es gelang, eines der gesuchten Enzymsysteme, die für die DNA-Reparatur zuständig waren, zu beschreiben. ⁷⁵ Zu diesem Zeitpunkt – 1963 – erforschte Harm bereits über ein Jahrzehnt lang die Reaktivierung von Bakterien. Als Doktorand hatte er mit diesen Arbeiten am Max-Planck-Institut für vergleichende Erbbiologie und Erbpathologie in Berlin begonnen. Dieses Institut aber verfolgte das Interesse der traditionellen Strahlengenetik und stand in den 1950er Jahren damit ganz im Dienst des sich formierenden Sicherheitsdispositivs des Atomzeitalters.

Die Erforschung von Reparaturmechanismen wurde in den 1960er Jahren sowohl in der strahlenbiologischen als auch molekularbiologischen Forschung »highly fashionable«. ⁷⁶ Ende des Jahrzehnts wurden bereits knapp ein halbes Dutzend verschiedener Reparatursysteme gezählt. Reparaturmechanismen wurden zum organisierenden Kern eines neuen Forschungsfeldes, das weit über das angestammte Klientel der Strahlenforscher hinausreichte: der molekularen Radiobiologie ⁷⁷.

⁷² So äußerte sich Max Delbrück, der führende Virengenetiker, über die Ergebnisse seines Doktoranden James Watson, der eine ähnliche Spur wie Luria verfolgte. Friedberg 1997, 23. Erst in den späten 1950er Jahren setzte sich unter den Molekularbiologen die Ansicht durch, dass die Reaktivierung als eine regulatorische Leistung der Zelle verstanden werden musste. Borstel/Steinberg 1996, 1051; Friedberg 1997, 2.

⁷³ Hollaender/Stapleton 1956, 130.

⁷⁴ Friedberg 1997, 50.

⁷⁵ Ebd., 65.

⁷⁶ Auerbach in Wolstenholme/O'Connor 1969, 105; auch Friedberg 1997, 53, 164–165.

⁷⁷ Duchesne 1973, 161. In den kommenden Jahren wuchs das Interesse an den molekularen

6. Aktivierung des biologischen Organismus: von der Strahlenhygiene zu einer allgemeinen Umwelthygiene (um 1970)

Den Institutionen des Atomdispositivs entging nicht, dass der sich selbst reparierende Organismus neue, selbstaktivierende Kontrollvisionen beförderte. Bereits Mitte der 1960er Jahre versammelte die International Atomic Energy Agency in Wien einschlägige Forscher, um über die Bedeutung der »most exciting developments to emerge recently from the multidisciplinary approach to radiobiology« zu diskutieren.⁷⁸ Neu seien diese Forschungsergebnisse insofern, da die Strahlenwirkung konträr zu den bisherigen Annahmen nun als »indirect, delayed, repairable and often modified« erscheine.⁷⁹ Insbesondere das »concept of repair« sei von größter Relevanz für künftige Regulationsstrategien. Es vergrößere die Aussicht auf Kontrolle der Strahlenwirkung mit allen Implikationen »for exploiting and expanding the beneficial applications of radiation [...] in minimizing the hazards from the ever-increasing opportunities for exposure«. ⁸⁰ Mit anderen Worten: Am Horizont der DNA-Reparatur-Mechanismen formierte sich eine neue Rationalität des gefährdeten Organismus. Das Reparaturmodell problematisierte den Organismus als ein umweltoffenes und selbstregulatives System und versprach eine kontrollierende Aktivierung der inneren Regulation des Organismus.

Mit der Entdeckung der DNA-Reparatur schienen sich Machtinteresse und Strahlenforschung aufs Wunderbare zusammenzufügen. Tatsächlich verlief die Geschichte aber anders. Statt der Atomgefahr sollte die selbstregulative Problematisierung des gefährdeten Organismus eine gesellschaftliche Problemlage adressieren, die sich erst einige Jahre später voll ausprägte. 1963 waren die oberirdischen Atomwaffentests mit dem Vertrag von Moskau eingestellt worden. Etwa zeitgleich verschwand das gesteigerte öffentliche Interesse an dem Thema.⁸¹ Es zeichnete sich währenddessen in den industrialisierten Gesellschaften die Kontur einer neuen Bedrohungslage ab: die Gefährdung der Bevölkerung durch die in die Umwelt ausgebrachten Chemikalien wie Pestizide und die kontinuierliche Verseuchung der Umwelt

Reparaturmechanismen stetig und erreichte erst Mitte der 1980er Jahre einen Höhepunkt. Keller 2000, 30. 1989 ging aus *Mutation research* die Teilzeitschrift *DNA repair* hervor, die seit 2001 als eigenes Journal geführt wird.

⁷⁸ IAEA 1966, foreword.

⁷⁹ Ebd.

⁸⁰ Ebd.

⁸¹ Mittlerweile hatten sich auch die großen Visionen des Atomzeitalters auf den Bau von Atommeilern reduziert. Eine Anti-Atombewegung formierte sich in Deutschland erst wieder Anfang der 1970er Jahre. Radkau 1983.

mit Abwässern und Luftschadstoffen. Wissenschaftskommissionen forderten schon in den 1960er Jahren eine Umweltpolitik ein.⁸² Anfang der 1970er Jahre legte die deutsche Regierung dann ihr erstes »Umweltprogramm« auf.⁸³

Die Politisierung der Umwelt bedeutete, dass potenziell allen technisch bedingten Umwelteinflüssen eine gesundheitspolitische Relevanz zugemessen werden konnte. Die Neukonfiguration der Strahlenforschung fügte sich in dieses Umbruchsgeschehen ein. Der Preis dafür war allerdings ihre radikale Veränderung bis zur Unkenntlichkeit, denn die Strahlenforschung ging Ende der 1960er Jahre in einer allgemeinen Umwelthygiene auf. Der zentrale Beitrag der Strahlenforschung zu jener gesellschaftlichen Transformation waren die molekularen Reparaturmechanismen, deren Erforschung jetzt die Molekularbiologen in die Hand genommen hatten. Diese waren mittlerweile der Auffassung, dass es sich bei der Reparatur von Strahlenschäden letztlich »nur um einen Teil eines universellen Korrektursystems handelte, das den ordnungsgemäßen Ablauf der vitalen DNS-Funktion ermöglicht.«⁸⁴ Ein solches universelles genetisches Reparatursystem schmälerte die Bedeutung der Strahlen. Strahlen entsprachen nur noch einem winzigen Ausschnitt aus dem Spektrum mutagener, toxischer oder carcinogener Stoffe und waren nur ein Teilaspekt des »environmental stress«, wie es nun hieß.⁸⁵ Die Verschiebungen im Feld der Strahlenforschung führten auf diese Weise weg von einer auf die Strahlen begrenzten Sicht. Die Strahlenforschung brachte damit in die sich formierende Umweltdebatte zwei wichtige Argumentationsfiguren ein: 1. die Verallgemeinerung der Figur des strahlengefährdeten Organismus und 2. die Zusammenfassung des prekären Status des Organismus unter einem biologischen Wirkprinzip, der DNA-Reparatur. Das Strahlenmodell drängte in seiner neuen Konfiguration insofern in Richtung eines auf die gesamte technische Umwelt bezogenen politischen Handelns.⁸⁶ Tatsächlich existierten Anfang der 1970er Jahre bereits fließende Übergänge zwischen Strahlen-, Umweltforschung und Toxikologie. So begannen sich etwa Institutionen wie die Johns Hopkins University School of Hygiene and Public Health unter dem Aspekt einer allgemeinen Umwelthygiene für die Mechanismen der DNA-Reparatur zu interessieren.⁸⁷

⁸² Küppers/Lundgreen/Weingart 1979, 255.

⁸³ Ebd., 243–244.

⁸⁴ Dertinger/Jung 1969, 230.

⁸⁵ Beers 1972, xv.

⁸⁶ Dieser spezielle Zusammenhang von Strahlen- und Umweltforschung kann hier nur angedeutet werden. Exemplarisch steht dafür die Umstrukturierung des Forschungszentrums für Strahlenforschung (GSF) zur Forschungs->Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung« 1971. Reuter-Boysen 1992.

⁸⁷ Beers 1972.

Das molekularbiologische Strahlenmodell instruierte den Begriff eines Organismus, der mit seiner gesamten Umwelt in einer gefährvollen Beziehung stand. Die DNA-Reparatur berührte aber in einer noch anderen, sehr grundlegenden Weise das Verständnis vom Organismus wie auch seinen Platz innerhalb politischer Regulationsstrategien. Nach Ansicht eines Molekularbiologen um 1970 mussten die DNA-Reparaturmechanismen als ein Grundkennzeichen lebender Organismen angesehen werden.⁸⁸ Als solches waren sie ein Beweis für die inzwischen unter Biologen verbreitete Ansicht, dass die Gene zusammen mit den Zellen ein »highly reliable, dynamic system« formten, »built from vulnerable and unreliable parts«.⁸⁹ An die Stelle eines passiven Organismus, dessen Unversehrtheit vom Schutz seines robusten, aber zerbrechlichen Kerns abhing, trat ein aktiver, umweltoffener Organismus. Die statische Stabilität des Erbplasmas wandelte sich in die ständige Arbeit der Zellen und des Organismus an sich selbst. DNA-Reparatur war »self-repair«.⁹⁰ Die Fähigkeit zur Selbstregulation wurde beginnend mit den 1970er Jahren zudem evolutionsbiologisch ausgedeutet. Wiederkehrendes Motiv war, dass der Organismus seine Umweltempfindlichkeit und sein Evolutionstempo selber regeln könne, indem er seine Reparationssysteme justiert.⁹¹ Auf die Problematisierung des Organismus in der technischen Welt gemünzt, hieß das, dass der künstliche »Umweltstress« nicht einfach die gefährliche Seite der technischen Modernisierung war. Er bildete vielmehr zusammen mit der natürlichen Umweltbedrohung ein natürliches und übergreifendes Problem der Regulation und des Austarierens von Gefahr und organismischer Entwicklung (vgl. Abb.3).

Im Lichte seiner molekularbiologischen Aktivierung entstand zusammengefasst ein Wirkmodell, durch das der Organismus selbst zum Akteur avancierte. Vererbung, innere Regulation des Organismus und seine Reizbarkeit durch äußere Reize bildeten in diesem Modell ein System von benennbaren Risiken. Der neue aktive und umweltoffene Organismus erlaubte es, Mutationen sowie die Wirkung gefährlicher Stoffe im Allgemeinen nicht mehr schicksalhaft, sondern als biologisches Geschehen zu problematisieren. Strategien zur Regulation des Verhältnisses von technischer Umwelt und Individuum konnten sich damit vom Gedanken eines rein passiv-prophylaktischen Schutzes, wie ihn etwa Strahlenschutzstoffe boten, lösen und statt dessen die prophylaktische Aktivierung der körpereigenen enzymatischen Regulationssysteme in Angriff nehmen.⁹² Der konsequente Zielpunkt solcher

⁸⁸ Beers 1972, xv.

⁸⁹ Keller 2000, 31.

⁹⁰ Beers 1972, xv [Hervorhebung: A.v.S.].

⁹¹ Duchesne 1973, 161–201. Siehe auch Keller 2000, 36–38.

⁹² WHO 1960, 302; Kimball in Wolstenholme/O'Connor 1969, 2.



Abb. 3: Gefahr als Kulturlandschaft. In diesem Gemälde illustrierte der Genetiker Wolfgang Laskowski die Vorgänge in der Zelle, die bei der Einwirkung von Strahlen und der Reparatur der DNS (gelb) zusammenwirken. Die Zelle wird zu einer Hügellandschaft mit See, die Strahlen zu Sonnenstrahlen, die DNS-Reparatur zum Handwerk (Blöcke, Scheren, Zangen). Botschaft: Gefahr ist ein Problem der Umwelt, und ihre Regulation ist eine evolutive Aufgabe des Menschen wie der Kultur.

In: Wolfgang Laskowski. *Biologische Strahlenschäden und ihre Reparatur*, Berlin 1981, IV.

Überlegungen war im beginnenden Zeitalter des »genetic engineering« die Manipulation und Verbesserung der Reparaturmechanismen.⁹³

7. Selbstmanagement des Organismus in der »Krise der Kontrolle« des technischen Zeitalters (nach 1970)

Die ›Verumweltlichung‹ des Organismus, wie sie im Zuge der Umweltpolitik offensichtlich wurde, war also mehr als ein politisches Projekt. Dahinter verbarg sich ebenso sehr eine epistemische Leistung. Insofern war die Strahlenforschung Teil einer gründlichen Neupositionierung des Individuums im Bezug zu seiner Umwelt. Haraway beispielsweise hat die Bedeutung der Immunbiologie hierfür hervorgehoben. Die immunbiologische Konfiguration von Umwelt und Menschen habe im System des späten Kapitalismus dazu beigetragen, die Grenzen zwischen dem Selbst und dem Äußeren neu zu bestimmen.⁹⁴ Noch mehr wäre wohl über die Neupositionierung von Organismus und Individuum im kybernetischen Denken zu sagen.⁹⁵

Die Aktivierung des Individuums gehört zur Signatur einer »tiefgreifenden Mutation des Kapitalismus« in den letzten Jahrzehnten,⁹⁶ für die weniger die Umweltpolitik als jene Verumweltlichung des Organismus maßgeblich war. Der paradoxe Ausgangspunkt Anfang der 1970er Jahre war: Je mehr die Umweltgefahren den Organismus bedrängten, desto selbstständiger wurde dieser. Der »Notstand« ermöglichte es – und darin zeigten sich die produktiven Resonanzen des Wissens –, »die Selbstregulation anzukurbeln«.⁹⁷ Das folgerichtige Vermächtnis der Strahlenepisteme für eine Regierung der Gefahren war, den Organismus selbst in die Regulation der Gefahren einzubeziehen. Im regulativen Verhältnis von Umwelt und Organismus, das bis dahin im Zeichen technischer Mechanik, Disziplin und Schicksal stand, wurde damit eine Strategie des Selbstschutzes und Selbstmanagements installiert. So zeichnete sich bereits Anfang der 1970er Jahre die für unsere Gegenwart charakteristische »neue Konfiguration von Wissen, Macht und Subjektivität« ab, die eine »modifizierte biopolitische Rationalität« anleitete.⁹⁸

⁹³ N.N. 1968; Beers 1972, xv-xvi.

⁹⁴ Haraway 1991, 204.

⁹⁵ Z.B. Tiqqun 2007.

⁹⁶ Deleuze zitiert nach Diefenbach 2003, 239.

⁹⁷ Tiqqun 2007, 40.

⁹⁸ Rabinow/Rose 2006, 212–213; siehe auch Lemke 2000a, 230. Unter diesem Blickwinkel wäre auch das Mitte der 1980er Jahre initiierte Human Genome Project als Umweltprojekt zu verstehen, in dessen Risikomatrix der Organismus als Gen-Umwelt-System reproduziert werden sollte.

Der bio- und humanwissenschaftliche Gefahrendiskurs hat damit seinen Platz im inzwischen viel zitierten Übergang vom Sozialstaat zur Unternehmergeellschaft.⁹⁹ Die neoliberale Regierungskunst zeichnet sich dadurch aus, dass sie wohlfahrtsstaatliche Sicherungssysteme durch »Dispositive der Unsicherheit und Prekarisierungsstrategien ergänzt und ersetzt«. ¹⁰⁰ Risiken zu individualisieren bedeute, so fasst Lemke weiter zusammen, selbstregulatorische Kompetenzen zu stärken. Das Kennzeichen der neuen auf Selbstsorge abzielenden Machttechnologien sei insbesondere, dass sie »das Körperinnere als neuen Interventionsraum« erschließen und zugleich den Körper fragmentieren, indem sie die inneren »biologischen Risiken« in ein kontinuierliches Netz von Risiken einspannen.¹⁰¹

Das biologische Modell des gefährdeten Organismus unterstützte diese Rationalität einer naturalisierten technischen Umwelt und einer den Organismus und Umwelt umspannenden Risikomatrix. Der genealogische Zusammenhang zwischen der Problematisierung des aktiven Organismus und neoliberalen Kontrollstrategien zeigte sich etwa darin, dass die amerikanische »Society for Risk Analysis« die Arbeiten des Strahlenbiologen Hollaender 1973 mit ihrem Preis auszeichnete.¹⁰² Die selbstorgende Aktivierung des Organismus durch die molekular- und evolutionsbiologische Objektivierung des gefährdeten Organismus kündete deshalb bereits 1970 von der Aktivierung des Individuums im neoliberalen Denken.

8. Ein epistemologisches Projekt: Ungleichzeitigkeiten im Verhältnis von Macht und Wissen

Die hier entworfene Geschichte der Strahlenforschung und ihrer Gefahrenmodelle ist mit dem Problem befasst, wie sich eine Mikrophysik der Wissenschaft und die verstreuten Machtverhältnisse zu jenen neuen Formen verbinden, die soziale Ordnung herstellen und regulieren. Ich habe überblicksartig nachvollzogen, wie sich die Strahlenepisteme durch die Verknüpfungen mit der Bakteriologie, mit fotobiologischen Problemen, Viren, der Proteinbiosynthese und der Replikation der DNA veränderten. Diese unerwartete Kombination verschiedener Probleme, Objekte und Techniken

⁹⁹ Interessanter Weise erwiesen sich damit wie schon zu Beginn der Industriegesellschaft Sicherheit und ihre Kehrseite, Gefahren, als das Relais für eine neue gouvernementale Konfiguration. Opitz 2004, 50; dazu allgemeiner Foucault 2005, 733.

¹⁰⁰ Lemke 2000a, 238–239. Mit »Prekarisierungsstrategien« zitiert Lemke Bourdieu.

¹⁰¹ Lemke 2003, 164 u. 167.

¹⁰² Hollaender 1986.

brachte das Konzept der DNA-Reparatur hervor und eine Transformation der Problematisierung des gefährdeten Organismus in Gang. Die entscheidende Erkenntnis ist dabei, dass die DNA-Reparatur von der Strahlenhygiene und Strahlenschutz weg und stattdessen hin zur Umweltpolitik und zum selbstunternehmerischen Subjekt führte. Die epistemisch-technische Verbindung von Molekularbiologie und Strahlenbiologie instruierte damit eine Rationalität, die nicht den Anforderungen des »Atomzeitalters«, sondern anderen – späteren – Schwierigkeiten und einem veränderten Regulierungsbedarf der fortgeschrittenen Industriegesellschaften der 1970er Jahre, entgegenarbeitete.

Es zeigt sich, dass die eigenwilligen Verzweigungen epistemischer Ereignisse und die aus ihnen entwickelten Rationalitäten nicht unbedingt auf das Machtinteresse antworten, unter dem sie gedeihen. Die Machteffekte des Wissens können Kraftverhältnisse oder eine Risikopolitik adressieren, die nicht Teil der Formation dieses Wissens waren. Die Resonanz, die sich zwischen Vergangenen und Zukünftigen einstellt, ist jedoch nicht geheimnisvoll. Vereinfacht gesagt, arbeitet das Wissen selbst an der Konstitution jenes »Notstands« mit, zu dem es später die rettende Strategie liefern wird. Dennoch handelt es sich nicht um das Modell eines letztlich identitären Spiels, wie es mit einem oft formelhaft apostrophierten »Macht-Wissens-Komplex« schnell suggeriert wird. Das Kennzeichen einer epistemisch-politischen und zugleich praxisbezogenen Geschichte der Wissenschaft ist vielmehr die Einsicht, dass die Entwicklung des Wissens Ungleichzeitigkeiten in der Beziehung zur strategischen Macht hervorbringt. Eine Ordnung in das »Gewirr der Wissens- und Machtwirkungen« zu bringen,¹⁰³ heißt, solche Ungleichzeitigkeiten aufzuspüren.¹⁰⁴

¹⁰³ Foucault 2003, 187.

¹⁰⁴ Das Programm der Genealogie ist bekanntlich, den Diskontinuitäten in der Abfolge von Machtformen nachzuspüren. Dreyfus/Rabinow 1994, 134–135. Die Aufgabe müsste darüber hinaus sein, solche Diskontinuitäten auch in der Beziehung von Wissen und Macht historisch zu konkretisieren.

Literatur

- Abele, Johannes (2002). *Wachhund des Atomzeitalters. Geigerzähler in der Geschichte des Strahlenschutzes*, München.
- Auerbach, Charlotte (1976). *Mutation Research. Problems, Results and Perspectives*, London.
- Beck, Ulrich (1986). *Risikogesellschaft. Auf dem Weg in eine andere Moderne*, Frankfurt am Main.
- Beers, Roland F. (Hg.) (1972). *Molecular and Cellular Repair Processes*, Baltimore.
- Borstel, R. C. von & Charles M. Steinberg (1996). »Alexander Hollaender. Myth and Mensch«, *Genetics* 143, 1051–1056.
- Brandt, Christina (2004). *Metapher und Experiment. Von der Virusforschung zum genetischen Code*, Göttingen.
- Castel, Robert (1981). *La gestion des risques. De l'anti-psychiatrie à l'après-psychanalyse*, Paris.
- Cheung, Tobias (2000). *Die Organisation des Lebendigen. Die Entstehung des biologischen Organismusbegriffs bei Cuvier, Leibniz und Kant*, Frankfurt am Main.
- Deleuze, Gilles (1993). *Unterhandlungen 1972–1990*, Frankfurt am Main.
- Dertinger, H. & H. Jung (1969). *Molekulare Strahlenbiologie*, Berlin.
- Diefenbach, Katja (2003). »Das erfolgreiche Scheitern von 1968. Poststrukturalistische Theorien der Kontrollgesellschaft, in: T. Nusser & E. Strowick (Hgg.), *Rasterfabndungen. Darstellungstechniken, Normierungsverfahren, Wahrnehmungskonstitution*, Bielefeld, 221–242.
- Dommann, Monika (2003). *Durchsicht, Einsicht, Vorsicht. Eine Geschichte der Röntgenstrahlen, 1896–1963*, Zürich.
- Dreyfus, Hubert L. & Paul Rabinow (1994). *Michel Foucault. Jenseits von Strukturalismus und Hermeneutik*, Weinheim.
- Dry, Sarah (2006). »The population as patient. Alice Stewart and the controversy over low-level radiation in the 1950s«, in: Th. Schlich & U. Tröhler (Hgg.), *The Risks of Medical Innovation. Risk perception and assessment in historical context*, Milton Park, 116–132.
- Duchesne, J. (Hg.) (1973). *Physico-chemical Properties of Nucleic Acids*, London.
- Ewald, François (1993). *Der Vorsorgestaat*, Frankfurt am Main.
- Fischer, Peter (1985). *Licht und Leben. Ein Bericht über Max Delbrück, den Wegbereiter der Molekularbiologie*, Konstanz.
- Foucault, Michel (1976). *Überwachen und Strafen. Die Geburt des Gefängnisses*, Frankfurt am Main.
- Foucault, Michel (1978). *Dispositive der Macht*, Berlin.
- Foucault, Michel (1989). *Sexualität und Wahrheit, Band 2, Der Gebrauch der Lüste*, Frankfurt am Main.
- Foucault, Michel (1995). *Die Ordnung der Dinge. Eine Archäologie der Humanwissenschaften*, 13. Aufl., Frankfurt am Main.
- Foucault, Michel (2001). *In Verteidigung der Gesellschaft. Vorlesungen am Collège de France (1975–76)*, Frankfurt am Main.
- Foucault, Michel (2003). *Dits et Ecrits. Band III 1976–1979*, Frankfurt am Main.
- Foucault, Michel (2004). *Geschichte der Gouvernementalität I. Sicherheit, Territorium, Bevölkerung*, Frankfurt am Main.
- Foucault, Michel (2005). *Dits et Ecrits. Band IV 1980–1988*, Frankfurt Main.
- Friedberg, Errol C. (1997). *Correcting the Blueprint of Life. An historical Account of the Discovery of DNA Repair Mechanisms*, Cold Spring Harbor.
- Göckenjan, Gerd (1985). *Kurieren und Staat machen. Gesundheit und Medizin in der bürgerlichen Welt*, Frankfurt am Main.
- Hamblin, Jacob Darwin (2007). »A Dispassionate and Objective Effort. Negotiating the First Study on the Biological Effects of Atomic Radiation«, *Journal of the History of Biology* 40, 147–177.
- Hacking, Ian (1990). *The Taming of Chance*, Cambridge.
- Haraway, Donna J. (1991). *Simians, Cyborgs, and Women. The Reinvention of Nature*, New York.
- Helmstädter, Axel (2005). »Die Radiumschwachtherapie. Strahlende Arznei-, Lebens- und Körperpflegemittel in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts«, *Medizinhistorisches Journal* 40, 347–368.
- Hobsbawm, Eric (2003). *Das Zeitalter der Extreme. Weltgeschichte des 20. Jahrhunderts*, 6. Aufl., München.
- Hollaender, A. & G.E. Stapleton (1956). »The influence of chemical pre- and post-treatments on radiosensitivity of bacteria, and their significance for higher organisms«, in: G.E.W. Wolstenholme (Hg.), *Ciba Foundation Symposium on Ionizing Radiations and Cell Metabolism*, London, 120–135.
- Hollaender, Alexander (1986). »History of Radiation Biology From a Personal Point of View«, in: M. Simic, L. Grossmann & A. Upton (Hgg.), *Mechanisms of DNA Damage and Repair. Implications for Carcinogenesis and Risk Assessment*, New York, 9–17.
- Hug, O. (Hg.) (1963). *Fortschritte der Strahlenbiologie. Berichte über strahlenbiologische Arbeiten in der Bundesrepublik Deutschland in den Jahren 1954–1961*, München.
- IAEA (Hg.) (1966). *Genetical Aspects of Radiosensitivity. Mechanisms of Repair. Proceedings of a Panel Held in Vienna 18–22 April 1966*, Vienna.
- Keller, Evelyn Fox (2000). *The Century of the Gene*, Cambridge.

- Koelsch, F. (1942). »Der Gesundheitsschutz gegen Röntgenstrahlen und radioaktive Strahlungen«, *Jahreskurse für ärztliche Fortbildung* (Heft 9) 33, 11–22.
- Küppers, Günter, Peter Lundgreen & Peter Weingart (1979). »Umweltprogramm und Umweltforschung«, in: W. van den Daele, W. Krohn & P. Weingart (Hgg.), *Geplante Forschung*, Frankfurt am Main, 239–286.
- Latour, Bruno (2000). *Die Hoffnung der Pandora. Untersuchungen zur Wirklichkeit der Wissenschaft*, Frankfurt am Main.
- Lemke, Thomas (1997). *Eine Kritik der politischen Vernunft. Foucaults Analyse der modernen Gouvernementalität*, Berlin.
- Lemke, Thomas (2000a). »Die Regierung der Risiken. Von der Eugenik zur genetischen Gouvernementalität«, in: U. Bröckling, S. Krasmann & T. Lemke (Hgg.), *Gouvernementalität der Gegenwart. Studien zur Ökonomisierung des Sozialen*, Frankfurt am Main, 227–264.
- Lemke, Thomas (2000b). »Neoliberalismus, Staat und Selbsttechnologien. Ein kritischer Überblick über die governmentality studies«, *Politische Vierteljahresschrift* 41, 31–47.
- Lemke, Thomas (2003). »Rechtssubjekt oder Biomasse? Reflexionen zum Verhältnis von Rassismus und Exklusion«, in: Martin Stingelin (Hg.), *Biopolitik und Rassismus*, Frankfurt am Main, 160–183.
- Möhring, Maren (2004). *Marmorleiber. Körperbildung in der deutschen Nacktkultur (1890–1930)*, Köln.
- Morange, Michel (1998). *A History of Molecular Biology*, Cambridge.
- Moser, G. (2002). »Vom ›psychogenen Ekzem des Sozialneurotikers‹ zur entschädigungspflichtigen Berufsdermatose«, in: Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (Hg.), *Ist das Berufskrankheitenrecht noch zeitgemäß?*, Sankt Augustin, 199–213.
- Musil, Robert (1978) [1930]. *Der Mann ohne Eigenschaften*, Hamburg.
- N.N. (1968). »Heilung genetischer Defekte durch Reparatur der DNS des Menschen«, *Die Umschau* 68, 284
- Nowotny, Helga (1979). *Kernenergie. Gefahr oder Notwendigkeit*, Frankfurt am Main.
- Opitz, Sven (2004). *Gouvernementalität im Postfordismus. Macht, Wissen und Techniken des Selbst im Feld unternehmerischer Rationalität*, Berlin.
- Rabinow, Paul (2004). *Anthropologie der Vernunft. Studien zur Wissenschaft und Lebensführung*, Frankfurt am Main.
- Rabinow, Paul & Nikolas Rose (2006). »Biopower Today«, *BioSocieties* 1, 195–217.
- Rader, Karen A. (2004). *Making Mice: Standardizing Animals for American Biomedical Research, 1900–1955*, Princeton.
- Radkau, Joachim (1983). *Aufstieg und Krise der deutschen Atomwirtschaft 1945–1975. Verdrängte Alternativen in der Kerntechnik und der Ursprung der nuklearen Kontroverse*, Hamburg.
- Rasmussen, Nicolas (1997). »The Mid-Century Biophysics Bubble: Hiroshima and the Biological Revolution in America, Revisited«, *History of Science* 35, 245–293.
- Reuter-Boysen, Christiane (1992). *Von der Strahlen- zur Umweltforschung. Geschichte der GSF 1957–1972*, Frankfurt am Main.
- Rheinberger, Hans-Jörg (1997). *Toward a History of Epistemic Things. Synthesizing Proteins in the Test Tube*, Stanford.
- Rheinberger, Hans-Jörg (2004). »Die Wissenschaft des Konkreten«, in: Norbert Haas & Rainer Nägele (Hgg.), *Das Wilde Denken*, Eggingen, 55–71.
- Rheinberger, Hans-Jörg (2006). *Epistemologie des Konkreten*, Frankfurt am Main.
- Rose, Nikolas (2000). »Tod des Sozialen? Eine Neubestimmung der Grenzen des Regierens«, in: U. Bröckling, S. Krasmann & T. Lemke (Hgg.), *Gouvernementalität der Gegenwart. Studien zur Ökonomisierung des Sozialen*, Frankfurt am Main, 72–109.
- Sarasin, Philipp & Jakob Tanner (Hgg.) (1998). *Physiologie und industrielle Gesellschaft. Studien zur Verwissenschaftlichung des Körpers im 19. und 20. Jahrhundert*, Frankfurt am Main.
- Sarasin, Philipp (2001). *Reizbare Maschinen. Eine Geschichte des Körpers 1765–1914*, Frankfurt am Main.
- Schneck, Peter (2001). »Vom Reiz der Grenzüberschreitung. Zur Geschichte der Medizinischen Physik und Biophysik an der Humboldt-Universität zu Berlin«, *NTM* 9, 177–190.
- Schwerin, Alexander (geplant 2008). »The Origins of German Biophysics in Medical Physics (1900–1930)«, in: H. Trischler & M. Walker (Hgg.), *Physics in Germany from 1920 to 1970*, Stuttgart.
- Setlow, Richard B. (1987). »Alexander Hollaender (1898–1986)«, *Genetics* 116, 1–3.
- Sobels, E.H. (Hg.) (1963). *Repair From Genetic Radiation Damage and Differential Radiosensitivity in Germ Cells*, Oxford.
- Stubbe, Hans (1983). *Gemutation*, Berlin.
- Tiqun (2007). *Kybernetik und Revolte*, Zürich.
- Wahrig, Bettina (2004). »Globale Strategien und lokale Taktiken. Ärzte zwischen Macht und Wissenschaft 1750–1850«, in: R. van Dülmen & S. Rauschenbach (Hgg.), *Macht des Wissens. Die Entstehung der modernen Wissenschaftsgesellschaft*, Köln, 655–679.
- Walker, J. Samuel (2000). *Permissible Dose. A History of Radiation Protection in the Twentieth Century*, Berkeley.
- WHO (1960). »Strahlenbelastung des Menschen. Bericht des wissenschaftlichen Ausschusses der Verein-

ten Nationen über die Wirkung ionisierender Strahlung«, (= *Schriftenreihe des Bundesministers für Atomenergie und Wasserwirtschaft. Strahlenschutz*, Heft 8), Braunschweig.
Wolstenholme, G.E.W. & Maeve O'Connor (Hgg.) (1969). *Mutation as Cellular Process. A Ciba Foundation Symposium*, London.