

10. Technikfolgenabschätzung zukünftiger Bio- und Gentechnologien: Visionen und Partizipation

10.1 Einführung und Überblick

Der wissenschaftlich-technische Fortschritt hat sich in den letzten Jahrzehnten in vielen Feldern beschleunigt. Bio- und Gentechnologien zeigen eine besonders dynamische Entwicklung und ermöglichen mittlerweile eine Vielzahl technischer Eingriffe in lebende Systeme und deren genetische Ausstattung. Hieraus resultieren unterschiedlichste Innovationspotenziale, vor allem im Gesundheitsbereich und als Basis einer zukünftigen Bioökonomie. Forschung und Entwicklung werden begleitet von öffentlichen, teils hochkontrovers und erbittert geführten Debatten darüber, ob und inwieweit technische Eingriffe in das Leben ethisch legitim sind, wer von ihnen profitiert oder profitieren soll, in welchem Umfang sie nicht intendierte Folgen haben können, wie es um Akzeptabilität und Zumutbarkeit dieser Folgen steht und wie Entwicklung und Nutzung technischer Eingriffe in lebende Systeme reguliert werden sollen. Die Etablierung des Vorsorgeprinzips in der europäischen Umweltgesetzgebung (Schomberg, 2005) ist ein prominentes Ergebnis derartiger Debatten.

Die Technikfolgenabschätzung (TA; vgl. 10.2) ist seit ihrem Entstehen vor etwa 50 Jahren mit Bio- und Gentechnologien befasst. Dieses Themenfeld beinhaltet einige besondere und in sich heterogene Herausforderungen:

- ▶ fundamentale gesellschaftliche Kontroversen insbesondere über gentechnisch veränderte Pflanzen und Lebensmittel in Bezug auf mögliche Risiken sowie die Marktdominanz großer Saatgut- und Agrarchemieunternehmen;
- ▶ grundsätzliche ethische, aber auch wissenschaftliche Bedenken gegenüber einer Veränderung des menschlichen Erbguts und einer Weitergabe dieser genetischen Interventionen an nachfolgende Generationen aufgrund der mittel- und langfristigen unabsehbaren Beeinflussung der natürlichen Evolution;

- ▶ vielfältige und schnelle Veränderungen wissenschaftlicher Disziplinen unter anderem als Folge enormer apparativer und methodischer Möglichkeiten, beispielsweise im komplexen Zusammenwachsen von Natur- und Ingenieurwissenschaften im Feld der synthetischen Biologie (Vriend, 2006; Giese et al., 2014);
- ▶ eine allgemein hohe ethische Sensibilität in Bezug auf Eingriffe in lebende Systeme, die – oft teils aus religiösen Gründen, teils aber auch darüber hinaus – mit Hybris-Befürchtungen verbunden ist.

In diesem Beitrag fokussieren wir auf Herausforderungen und Möglichkeiten der politik- und gesellschaftsberatenden TA zu Bio- und Gentechnologien in sehr frühen Stadien. Nach einer kurzen allgemeinen Einführung in die TA (10.2) erläutern wir den Umgang mit der wenig belastbaren Wissenslage an zwei beispielhaften Projekten zur künstlichen Fotosynthese (10.3.1) und zur synthetischen Biologie (10.3.2). Wir schließen ab mit einer Reflexion zu den Möglichkeiten der Orientierung durch TA in Feldern mit weitgehend unsicherem Folgenwissen (10.4).

10.2 Technikfolgenabschätzung als wissenschaftliche Politik- und Gesellschaftsberatung

Spätestens seit den 1960er Jahren wurden erhebliche nicht intendierte Folgen von wissenschaftlich-technischen Entwicklungen in teils dramatischen Ausprägungen unübersehbar. Unfälle in technischen Anlagen (Seveso, Bhopal, Tschernobyl, Fukushima), Folgen für die natürliche Umwelt (Artensterben, Luft- und Gewässerverschmutzung, Ozonloch, Klimawandel), soziale Nebenfolgen von Technik (z. B. Arbeitsmarktprobleme als Folge der Automatisierung), ethische Herausforderungen (z. B. für technische Eingriffe in das Genom) und absichtlicher Missbrauch von Technik (z. B. Attentat auf das World Trade Center) haben Schatten auf allzu fortschrittsoptimistische Zukunftserwartungen geworfen. Neben der weiter bestehenden Hoffnung auf bessere Technik ist ihre *Ambivalenz* (Grunwald, 2010) zu einer zentralen Gegenwartsdiagnose geworden. Vor allem die stark vergrößerte Reichweite der Technikfolgen in räumlicher und zeitlicher Hinsicht (man denke z. B. an hoch radioaktive Abfälle oder an die an zukünftiges Leben weitergegebenen Interventionen in das Erbgut heutiger Organismen) und die dadurch erfolgte immense Ausweitung des Kreises der möglicherweise Betroffenen auf die gesamte gegenwärtige und eventuell auch zukünftige Menschheit haben die Ambivalenz von Technik sowie die Sorge um mögliche Langzeitfolgen (so bereits Jonas, 1979) ins allgemeine Bewusstsein gerückt, sowohl in Deutschland und vielen anderen

industrialisierten Ländern als auch in der internationalen Debatte zur nachhaltigen Entwicklung.

Diese Erfahrungen von nicht intendierten und teilweise gravierenden Technikfolgen, die man gerne im Vorhinein gekannt hätte, um sie verhindern oder um Kompensationsmaßnahmen einleiten zu können, stellen eine der Grundmotivationen der TA dar. Von den 1970er Jahren an ging es sowohl um die *Frühwarnung* vor technikbedingten Gefahren (Paschen/Petermann, 1991: 26) als auch um die *Früherkennung* der Chancen von Technik, damit diese optimal genutzt und Abwägungen von Chancen und Risiken vorgenommen werden können. Ein fundamentales Argument für die Notwendigkeit vorausschauender und systematischer TA lautet, dass für die Entwicklung und den Einsatz vieler moderner Technologien – und dies gilt insbesondere für Bio-, Gen- und Medizintechnologien – das Prinzip von Versuch und Irrtum mit einer nachträglichen Kompensation nicht intendierter und unerwarteter Folgen weder politisch oder ökonomisch praktikabel noch ethisch verantwortbar ist (Jonas, 1979). Eine weitere Motivation für TA ist (folgend Grunwald, 2010), Technikkonflikte, wie sie in der Moderne in vielen Ländern auftreten (z. B. zur Kernenergie, zur grünen Gentechnik, zur Präimplantationsdiagnostik oder zur Stammzellforschung), frühzeitig zu erkennen und durch die Einbeziehung von Betroffenen und Stakeholdern dialogische Lösungen zu ermöglichen, statt in fundamentalistische Blockaden hinein zu laufen.

Das generelle Anliegen der TA ist, durch die antizipierende Erforschung möglicher Technik- und Entscheidungsfolgen und ihre Reflexion in ethischer, ökologischer und gesellschaftlicher Hinsicht zu einer informierten demokratischen Debatte über den wissenschaftlich-technischen Fortschritt und dadurch zu reflektierten Entscheidungen beizutragen. Dies ist offenkundig nur durch einen breiten interdisziplinären, teils auch transdisziplinären Ansatz zu leisten. Daher lässt sich die TA keinem der klassischen Wissenschaftsfelder zuordnen, sondern vereinigt in sich Kompetenzen aus Geistes- und Sozial-, aber auch Natur- und Technikwissenschaften. Drei wesentliche Ausrichtungen der TA haben sich herausgebildet, die sich durch ihre Adressaten und Adressatinnen, den Typ der jeweils im Mittelpunkt stehenden Herausforderungen und die zu ihrer Bewältigung verwendeten Methoden und Verfahren unterscheiden (folgend Grunwald, 2015):

Wissenschaftliche Politikberatung: Politische Entscheidungen wie Standardsetzungen, Regulierungen, Deregulierungen, Steuergesetze, Verordnungen, Forschungs- und Technologieförderung, internationale Konventionen oder Handelsabkommen beeinflussen auf verschiedene Weise den Gang der Technikentwicklung und -diffusion. Staatliche Institutionen und politische Akteure und Akteurinnen üben somit in unterschiedlichen Weisen Einfluss auf die technische Entwicklung aus. Politikberatende TA erstreckt sich auf öffentlich relevante und politisch zu entscheidende Technikaspekte wie zum Bei-

spiel Sicherheits- und Umweltstandards, den Schutz der Bürger/-innen im Hinblick auf die Gewährleistung von Menschen- und Bürgerrechten, die Prioritätensetzung in der Forschungspolitik, die Gestaltung von Rahmenbedingungen für Innovation etc. Damit geht es um die *Rahmenbedingungen*, unter denen Forschung und Entwicklung stattfindet und unter denen in der Wirtschaft Technik entwickelt und als Produkt- oder Systeminnovation auf den Markt gebracht wird. Parlamentarische TA als wohl am stärksten profilierte politikberatende TA (Vig/Paschen, 1999; Petermann/Grunwald, 2005; Grunwald et al., 2012; PACITA, 2012) ist mit der Beratung von Parlamenten, Ausschüssen sowie Parlamentariern und Parlamentarierinnen in einem überwiegend nationalstaatlich strukturierten politischen Raum befasst. In Deutschland wurde das *Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag* (TAB) 1990 eingerichtet und hat seitdem auch zahlreiche Studien zu Bio- und Gentechnologien erarbeitet (Sauter, 2005).

Öffentlicher Dialog: Schon früh in der Entwicklung der TA wurde die Forderung nach Partizipation erhoben. Technikbewertung sollte weder den wissenschaftlichen Experten und Expertinnen (Expertokratie) noch den politischen Entscheidern (Dezisionismus) allein überlassen werden, sondern Angelegenheit der gesamten Bürgerschaft sein (Habermas, 1968). Gesellschaftliche Gruppen, Interessenvertreter/-innen, betroffene Bürger/-innen oder auch ganz allgemein „die Öffentlichkeit“ wären demnach in den Beratungs- und Bewertungsprozess einzubeziehen. Eine dezidiert partizipative TA (Joss/Belucci, 2002) beteiligt systematisch Personen und Gruppen außerhalb von Wissenschaft und Politik an Beratungen über zukünftige Technik einschließlich der Identifikation von Themen zur öffentlichen Förderung von Forschung und Entwicklung. Diese Bemühungen wurden in den letzten ca. zehn Jahren immer stärker auch auf frühe Phasen der Forschung und Entwicklung ausgerichtet (z. B. Grunwald, 2012; vgl. 10.3 in diesem Beitrag). Ein aktuelles Beispiel ist das EU-geförderte SYNERGENE-Projekt, das vor allem Bürger- und Stakeholder-Kommunikation im Kontext der synthetischen Biologie organisiert hat.¹

Mitgestaltung der Technik: TA kann aber auch direkt an realer Technikentwicklung in der Industrie ansetzen. Bereits die Richtlinie des Vereins Deutscher Ingenieure zur Technikbewertung (VDI, 1991) hat eine Handreichung für Ingenieure vorgelegt, um über die üblichen techno-ökonomischen Kriterien hinaus systematisch gesellschaftlich anerkannte Belange beziehungsweise Werte wie Sicherheit, Gesundheit und Umweltqualität im Innovationsprozess zu berücksichtigen. Dadurch soll die Technikentwicklung in eine ethisch und gesellschaftlich gewünschte Richtung beeinflusst werden, wie dies auch das Ziel des Constructive Technology Assessment ist (Rip et al., 1995). Diese Zielstellung

1 Siehe unter: <https://www.synergene.eu> [13.05.2018].

bildet ebenfalls den Mittelpunkt der Bemühungen um eine integrative Gestaltung von Forschung und Entwicklung im Sinne (bzw. unter dem Label) des forschungspolitischen Konzepts von Responsible Research and Innovation. Hier geht es darum, den Prozess von Forschung und Technikentwicklung durch ethische Reflexion, Folgenbetrachtungen und Einbeziehung von Stakeholdern und Betroffenen möglichst transparent, reflexiv und verantwortlich zu gestalten (vgl. Owen et al., 2013; Grunwald, 2016a).

In allen diesen Ausrichtungen versteht sich die TA als systematisches, inter- und transdisziplinäres Vorgehen zur wissenschaftlichen Suche nach gesellschaftlich tragfähigen Problemlösungen und als wissenschaftlich unabhängige Beratung von Politik und Gesellschaft. Sie verfolgt keine normative Mission, sondern orientiert sich strikt an Grundprinzipien argumentativer Transparenz im Rahmen des demokratischen Gemeinwesens. Dies drückt sich insbesondere darin aus, dass die TA verbreiteten technokratischen Optimierungs- oder Sachzwangargumentationen ein *Denken in Alternativen* gegenüberstellt, verbunden mit dem Ziel, demokratische Debatten und politische Entscheidungsfindung mit besserer Information und transparenterer normativer Orientierung zu bereichern: Alternativen statt Alternativlosigkeit (Dobroc et al., 2018; Grunwald, 2018). Dies ist übliche Praxis zum Beispiel im Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (Petermann, 2005). Damit unterscheidet sie sich deutlich vom traditionellen und oft von den Akademien der Wissenschaft verwendeten Ansatz wissenschaftlicher Politikberatung, bei dem Empfehlungen gegeben werden, diesen oder jenen Weg einzuschlagen, weil er nach wissenschaftlichen Optimierungsüberlegungen der Weg der Wahl zu sein scheint. Diesem Ansatz des ‚science knows best‘, in dem politisches Handeln zur bloßen Ausführung wissenschaftlicher Empfehlungen degenerieren würde (Habermas, 1968), setzt die TA die Beobachtung entgegen, dass Gestaltung von Zukunft kein wissenschaftliches Optimierungsproblem ist, sondern gesellschaftlicher Aushandlung bedarf. Denn sowohl der technische Fortschritt selbst als auch die Überführung seiner Ergebnisse in Innovation und deren Nutzung durch die Verbraucher hängen grundsätzlich von Werturteilen und politischen Positionen, von Lebensstilen und Präferenzen ab. Die TA als wissenschaftliche und prospektive Forschung für die Zwecke der Politikberatung kann daher lediglich wissenschaftlich gut abgesicherte, ethisch reflektierte und über einen transparenten Prozess nachvollziehbare Optionen entwickeln und als Alternativen zur Diskussion stellen. Auf diese spezifische Weise hat sie sich als relevanter Faktor in der Governance biotechnologischer Entwicklungen herausgebildet.

Bio- und Gentechnologien stehen seit Jahrzehnten im Fokus öffentlicher und politischer Aufmerksamkeit. Ein erster Kulminationspunkt war die legendäre, gleichwohl umstrittene Konferenz von Asilomar (1975). Entsprechend ist die TA in den letzten Jahrzehnten vielfach mit Herausforderungen aus diesen Feldern konfrontiert worden.

Das TAB am Deutschen Bundestag wurde von Beginn an immer wieder mit Themen aus Bio- und Gentechnik beauftragt (Sauter, 2005). Dabei standen einerseits Sicherheits- und Regulierungsfragen im Vordergrund, andererseits aber auch die Innovationspotenziale in unterschiedlichen Anwendungsfeldern. In diesen Projekten war die zentrale Herausforderung, inmitten einer stark polarisierten öffentlichen Debatte substanzielle Erkenntnisse zu generieren und Optionen zu entwickeln, die auf möglichst vielen Seiten Anerkennung finden (Sauter, 2005). In der partizipativen TA war das Projekt zu herbizidresistenten Pflanzen (van den Daele/Döbert, 1995) ein Meilenstein. Seit einigen Jahren werden Themen der Bio- und Gentechnik auf der europäischen und internationalen Ebene häufig im Rahmen des Konzepts Responsible Research and Innovation (RRI) behandelt, das sich aus der TA entwickelt hat (Grunwald, 2014a; siehe oben).

Die Folgenbetrachtung genauso wie zugehörige gesellschaftliche Diskurse erstrecken sich auf sehr unterschiedliche Wirkungs- und Wertebenen zukünftiger Bio- und Gentechnologien. Die drei wichtigsten sind (1) mögliche Umwelt- und Gesundheitsrisiken, vor allem im Hinblick auf Regulierung beziehungsweise Zulassungsverfahren, (2) sozioökonomische Effekte in Bezug auf Innovations- und Wertschöpfungspotenziale, Verteilungsgerechtigkeit und Machtverteilung sowie (3) fundamentale Einwände beziehungsweise Befürchtungen säkular-philosophischer, gegebenenfalls auch religiöser Art (zum Selbstverständnis des Menschen und seinem Verhalten gegenüber der Natur, theologisch gesprochen: gegenüber der Schöpfung, und der Legitimität von Eingriffen in diese).

10.3 TA in Frühstadien möglicher zukünftiger Bio- und Gentechnologien

Viele seit einiger Zeit im Fokus der Aufmerksamkeit von Forschungsförderung, Politik und Wissenschaft stehende Aktivitäten in Richtung auf eine biobasierte Wirtschaft sind motiviert durch das Leitbild der nachhaltigen Entwicklung. Die Umstellung industrieller Prozesse und Stoffströme hinsichtlich Energiegewinnung und Materialeinsatz soll sowohl die Schonung nicht erneuerbarer Ressourcen als auch eine Verminderung von Emissionen leisten. Ihre Realisierung bedarf erheblicher Fortschritte in vielen wissenschaftlichen und technischen Feldern, besonders im Bereich der Bio- und Gentechnologie. Die TA kann hierzu vielfältige Erfahrungen sowohl bei der Analyse von Innovationspotenzialen und -folgen als auch hinsichtlich der Beteiligung von Bürgern und Bürgerinnen und Stakeholdern vorweisen und damit einen Beitrag zu einer reflektierten und transparenten Gestaltung von Forschungs- und Innovationsprozessen leisten.

Wie TA-Aktivitäten ausgestaltet werden, hängt von vielen Faktoren ab. Eine wichtige Randbedingung ist der Reifegrad der betrachteten Technologien. Während es in

mittleren und späteren Phasen der Technikentwicklung gute epistemologische Voraussetzungen für eine prospektive Folgenabschätzung gibt, stellen sich in frühen Stadien einer vermutlich vielversprechenden wissenschaftlich-technischen Entwicklung andere Herausforderungen und Hindernisse, gleichzeitig ergeben sich aber auch Chancen. Das sogenannte Collingridge-Dilemma (Collingridge, 1980) verweist auf das grundsätzliche Problem, dass in sehr frühen Stadien einer Entwicklung in der Regel noch nicht gehaltvoll über gesellschaftliche Gestaltungsoptionen diskutiert werden kann. Im Falle eines vorgesehenen Einsatzes von Gentechnik können allerdings aufgrund der bisherigen Erfahrungen von vorneherein mit großer Wahrscheinlichkeit gesellschaftliche Kontroversen erwartet werden, weshalb eine frühzeitige und transparente Einbindung der Öffentlichkeit auf jeden Fall sinnvoll erscheint.

TA-Aktivitäten zu frühen Zeitpunkten im Forschungs- und Entwicklungsprozess sollen beziehungsweise können dazu dienen, politische, aber auch privatwirtschaftliche Entscheidungen über Forschungsinvestitionen zu unterstützen, beispielsweise zur Entwicklung neuer Verfahren zur Energieerzeugung oder von fundamental neuen medizinischen Verfahren wie Gentherapie oder Präimplantationsdiagnostik. Weil aber weder die erhofften Potenziale noch mögliche Risiken konkret beschrieben oder gar quantifiziert werden können, fällt es in diesen frühen Stadien schwer, mit der breiteren Öffentlichkeit in einen konkreten inhaltlichen, fruchtbaren Dialog zu treten. Durch die aus diesen Gründen auch oft geringe Beteiligungsbereitschaft kann wenig positives Feedback erzeugt werden, gleichzeitig regt sich meist auch noch keine hörbare Kritik. Lediglich allgemeine Risikobedenken können zu diesem Zeitpunkt entweder aus vergleichbaren Technologien beziehungsweise aus mit diesen geteilten allgemeinen Merkmalen übertragen werden (z. B. aus der Eigenschaft „gentechnisch verändert“, wie im folgenden Beispiel der künstlichen Fotosynthese) oder knüpfen an grundsätzliche und fundamentale Technikbedenken an („Playing God“, Störung der Schöpfung, Unnatürlichkeit im Fall der synthetischen Biologie; vgl. Kap. 10.3.2). Obwohl beide Beispiele gemeinsam haben, dass sie sich auf Entwicklungen in einem frühen bis sehr frühen Stadium beziehen, unterscheiden sie sich in Bezug auf die begleitende Debatte deutlich: Während es zur synthetischen Biologie seit ca. zehn Jahren eine lebendige internationale Ethik- und Technikfolgendebatte gibt, steht die künstliche Fotosynthese bislang im Schatten der Aufmerksamkeit.

10.3.1 Fallbeispiel künstliche Fotosynthese

Die Deutsche Akademie der Technikwissenschaften acatech hat sich mehrfach mit der Ausgestaltung von Folgenforschung und öffentlichen Debatten zu Technologien in frü-

hen Stadien geäußert (acatech, 2012a), so auch zu Bio- und Gentechnologien (acatech, 2012b). Dabei wurde empfohlen, „die Positionen und Bewertungen der einzelnen Stakeholder, also auch jener außerhalb der Wissenschaft, in allen Kommunikationsprozessen mit Respekt zu betrachten, unvoreingenommen zu reflektieren und ernst zu nehmen“ (acatech, 2012a). Frühzeitig soll die Öffentlichkeit in einen Dialog zu neuen Technologien eingebunden werden, wobei Expertenwissen und Laienwahrnehmung als einander ergänzend, nicht als gegensätzlich gesehen werden: „Erwartungen, Wünsche, Hoffnungen, Befürchtungen und Kritik der Laien sind aufzunehmen und bei der Gestaltung der Innovationsprozesse zu berücksichtigen. Gleichzeitig sind Expertisen aus Wissenschaft und Wirtschaft für eine wissenschaftlich fundierte Debatte unersetzlich, um absurde oder nicht haltbare Erwartungen oder Befürchtungen zu widerlegen oder zu entkräften“ (acatech, 2012a). Oft setzt intensive Reflexion jedoch erst ein, wenn bereits kommunikative oder konfrontative Fakten geschaffen wurden. Frühzeitige Kommunikation über Technikzukünfte (acatech, 2012b) wurde als Ansatz betrachtet, schon vor dem Entstehen möglicher Technikkonflikte, also bevor „das Kind in den Brunnen gefallen ist“, eine beteiligungsorientierte und offene Debatte zu initiieren. Die häufige Sorge in Wissenschaft und Wirtschaft, hier könnten „schlafende Hunde geweckt werden“, wenn zum Beispiel über mögliche Risiken frühzeitig diskutiert wird, ist unbegründet, da offene und frühzeitige Risikokommunikation zum Aufbau von Vertrauen beiträgt und fundamentalistische Verhärtungen zu vermeiden hilft.

Technikzukünfte sind Vorstellungen zukünftiger gesellschaftlicher Wirklichkeiten, die mit dem wissenschaftlich-technischen Fortschritt verbunden werden (können) (Grunwald, 2012). Der Plural verweist auf die zahlreichen sowie unterschiedlichen Bilder und Vorstellungen über Zukunft. Technikzukünfte haben Technik ebenso im Blick wie den gesellschaftlichen Kontext. Technikzukünfte können in unterschiedlichen Formen, etwa als Vorhersagen, Szenarien oder Visionen, zum Ausdruck gebracht werden. „Teils werden sie von Wissenschaftlern entworfen, etwa als modellbasierte Szenarien, teils handelt es sich um künstlerische Entwürfe, wie literarische oder filmische Produkte der Science-Fiction, teils sind es Erwartungen oder Befürchtungen, die über Massenmedien Teil der öffentlichen Kommunikation werden. [...] Sie können aber auch partizipativ erstellt werden; sie sind für Überraschungen offen, explorativ und können auch langfristige Entwicklungen zum Gegenstand haben“ (acatech, 2016).

Unter künstlicher Fotosynthese wird eine Sammlung unterschiedlicher visionärer Technologien verstanden. Zum einen soll mit ihnen nach dem Vorbild der Pflanzen Sonnenlicht genutzt werden, um aus Wasser und CO₂ energiereiche Kohlenwasserstoffe herzustellen (acatech, 2016). Diese könnten dann direkt als Energieträger oder als Chemierohstoffe genutzt werden. Dadurch wird der Umweg über die Produktion natür-

licher Biomasse vermieden, die nach Anbau und Ernte mit eher niedrigen Konversionsraten zunächst umgewandelt und letztlich zum Großteil verbrannt oder unspezifisch vergoren wird. Zum anderen bietet die künstliche Fotosynthese die Option, mithilfe von Fotovoltaik² Elektrizität zu erzeugen und anschließend durch Elektrolyse von Wasser Wasserstoff als Energiespeicher zu produzieren. Zu beiden Ansätzen, in denen teils gentechnische Modifikationen vorgenommen werden sollen, lassen sich gerade angesichts der Herausforderungen der Energiewende positive Technikzukünfte entwickeln.

Allerdings sind die technischen Realisierungsmöglichkeiten der künstlichen Fotosynthese entsprechend dem sehr frühen Stadium allenfalls in Ansätzen erkennbar, zur ökonomischen Sinnhaftigkeit lässt sich noch rein gar nichts sagen. Kontroversen beziehungsweise verfestigte Meinungsbilder sind noch kaum vorhanden. Um über das Thema sprechen und im Rahmen einer vorausschauenden und partizipativen Technikfolgenreflexion aus der Gesellschaft heraus Ideen und kritische Fragen aufnehmen zu können, muss zunächst überhaupt Interesse bei Bürgerinnen und Bürgern geweckt werden. Den Beteiligten am Projekt der acatech (2013–2015; vgl. acatech, 2016) war daher von Anfang an klar, dass es unterschiedlicher Formate bedürfen würde, um die künstliche Fotosynthese für Laien interessant und verständlich zu machen. Dazu wurden als Diskussionsgrundlage für Dialogveranstaltungen Technikzukünfte entworfen, in denen Geschichten über mögliche gesellschaftliche Entwicklungen durch die Nutzung von Techniken der künstlichen Fotosynthese erzählt werden. Diese drehten sich um Mikroalgen und Wasserlinsen, die als grüne Zellfabriken oder „Super-Pflanzen“ energiereiche Stoffe produzieren, um Nanokügelchen und elektrokatalytische Prozesse, die aus Wasser und CO₂ aus Industrieabgasen energiereiches Methangas herstellen, und um neuartige Solarzellen, die als Baumaterialien aus Gebäudefassaden ein Kraftwerk zur Stromproduktion bilden (acatech, 2016). Auf Dialogveranstaltungen unterschiedlichen Formats (Seminare, Science Cafés, Comic-Workshops) hat acatech diese Technikzukünfte verschiedenen Teilöffentlichkeiten (Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern, interessierten Laien, Studierenden sowie Schülerinnen und Schülern) vorgestellt und mit ihnen diskutiert. Kritische Fragen betrafen typische Dimensionen der Technikfolgenabschätzung, wie eine mögliche Freisetzung gentechnisch veränderter Organismen, den Wirkungsgrad und die Wirtschaftlichkeit der Technologie, aber auch den Wasser- und Energieverbrauch sowie den Einsatz von Dünger. Positiv kam vor allem die Nutzung von Industrieabgasen an. CO₂ als Ausgangsstoff aus Kraftwerks- und Industrieabgasen oder Biogasprozessen steht in großen Mengen zur Verfügung und

2 Zweig der Energietechnik, der sich mit der Gewinnung von elektrischer Energie besonders aus Sonnenenergie befasst.

kann in Zeiten, in denen nicht ausreichend Sonnen- oder Windenergie vorhanden ist, auch in größeren Mengen solange gespeichert werden, bis wieder ausreichend erneuerbar gewonnener Strom bereit steht (acatech, 2016). Zur positiven Wahrnehmung hat hier insbesondere beigetragen, dass auf diese Weise auch Treibhausgasemissionen vermieden werden. Auch wurden originelle Anwendungsideen generiert, zum Beispiel zur organischen Fotovoltaik: Mittels aufdruckbarer dünner Schichten könnten Getränkeflaschen an einem heißen Sommertag mit „Lichtenergie“ gekühlt werden.

Dieses acatech-Projekt gibt Hinweise auf die Gestaltung von Formaten öffentlicher Kommunikation zu neuen Bio- und Gentechnologien in sehr frühen Stadien der Entwicklung. Zunächst muss das Interesse von Teilnehmerinnen und Teilnehmern geweckt werden beziehungsweise müssen Teilnehmer/-innen gefunden werden, die bereit sind, sich mit einem weit von der Anwendung befindlichen Themenfeld visionär zu befassen. Im konkreten Fall war dies nicht leicht. Die Teilnehmerzahlen bewegten sich am unteren Rand der Erwartungen, die Teilnehmer/-innen waren jedoch sehr interessiert und motiviert, was zu lebendigen Diskussionen geführt hat. Auch die Wahl ungewöhnlicher Formate wie zum Beispiel Comic-Workshops, Science Cafés oder gezielte Veranstaltungen für Studierende mit einem geringen Vortrags- und hohem Dialoganteil haben dazu beigetragen, Interesse zu wecken. Die journalistisch aufbereiteten Geschichten über mögliche Technikzukünfte machten sie für Laien anschaulich, eröffneten den Teilnehmer/-innen einen Zugang zur künstlichen Fotosynthese und dienten als Ausgangspunkt für die Diskussionen (acatech, 2016). Die Aussicht, in diesen Veranstaltungen Teilnehmer/-in einer erst beginnenden Technikdebatte zu werden und ihr Entstehen mit zu prägen, hat auf die Teilnahmebereitschaft motivierend gewirkt. Die erzählten und diskutierten Technikzukünfte haben die Gentechnik in den Kontext der zukünftigen Energieversorgung gestellt. Welchen Einfluss dieser Kontextwechsel (in der grünen Gentechnikdebatte dominierte die landwirtschaftliche und auf Nahrungsmittel bezogene Nutzung) auf die technikoffene Grundhaltung der Teilnehmer/-innen hatte, lässt sich allerdings nur vermuten. Vorbehalte der Gentechnik gegenüber wurden von einzelnen Teilnehmerinnen und Teilnehmern immer wieder geäußert, spielten aber im Kontext industrieller Produktion und der Energieerzeugung keine dominierende Rolle.

Mit diesem Projekt wurde gezeigt, dass beteiligungsorientierte Reflexion von Entwicklungen auch in sehr frühem Stadium durchaus möglich ist, selbst wenn noch keine öffentliche Debatte stattfindet. Für mögliche zukünftige TA zur künstlichen Fotosynthese wurde auf diese Weise ein konstruktiver Anfang gesetzt. Typische Themen der TA wurden angesprochen, freilich unter den Bedingungen sehr geringen Wissens. Auf diese Weise kann das Projekt als Vorbereitung auf mögliche TA-Projekte zu späteren Zeitpunkten im Entwicklungsprozess angesehen werden. Allerdings ist klar zu sagen,

dass die Erfahrungsbasis dieses Projekts nicht reicht, um weitreichende methodologische Ratschläge für weitere Anwendungsfelder zu geben. Vielmehr bedarf es weiterer experimenteller Ansätze.

10.3.2 Fallbeispiel synthetische Biologie

Das zweite Beispiel behandelt ein TA-Projekt, das das TAB im Auftrag des Deutschen Bundestages durchgeführt und mit einem umfangreichen Bericht 2015 abgeschlossen hat (Sauter et al.). Die synthetische Biologie repräsentiert im Vergleich zur künstlichen Fotosynthese einen deutlich umfassenderen Forschungs-und-Entwicklungs-Bereich, der darauf abzielt, durch die gemeinsame Unternehmung unterschiedlichster Fachrichtungen (Biologie, Chemie, Physik, Mathematik, Ingenieurwissenschaften, Biotechnologie und Informationstechnik), „biologische Systeme mit neuen, definierten Eigenschaften zu konzipieren“ (DFG et al., 2009). Charakteristisch ist der grundsätzlich programmatische, stark zukunftsbezogene beziehungsweise visionäre Anspruch des Begriffs (mit dem Ziel der Erschaffung mehr oder weniger komplett künstlicher Organismen) bei gleichzeitig häufig eher pragmatisch wirkender Anwendung auf bereits seit Längerem verfolgte Forschungsansätze (z. B. als Beleg für besondere Neuartigkeit im Rahmen der Beantragung von Fördergeldern; vgl. hierzu und zum Folgenden: Sauter et al., 2015: 29 f., 35 ff.).

Der Begriff „synthetische Biologie“ verbreitete sich ab ca. 2005 in der US-amerikanischen und europäischen Forschungsförderung. Die erste größere interdisziplinäre Stellungnahme in Deutschland wurde 2009 von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG), der Deutschen Akademie der Technikwissenschaften (acatech) und der Deutschen Akademie der Naturforscher Leopoldina vorgelegt (DFG et al., 2009). Sowohl der Deutsche Ethikrat als auch das damalige „Spiegelgremium“ im Parlament, der Ethikbeirat des Deutschen Bundestages, sondierten das Thema und kamen zu dem Schluss, dass keine vorrangige Befassung nötig sei, weil keine grundsätzlich neuen Fragen in der Biotechnologie aufgeworfen würden. Im Sinne eines Monitorings sollte die weitere Entwicklung beobachtet werden, darunter sicherheitsrelevante Forschungsaktivitäten durch die Zentrale Kommission für die Biologische Sicherheit (ZKBS). Diese legte 2012 einen ersten kurzen Bericht vor, in dem kein akuter Handlungsbedarf beschrieben wurde (ZKBS, 2012).

Dennoch wurde das TAB 2011 mit einem TA-Projekt zur synthetischen Biologie beauftragt; parallel dazu lief eine Vielzahl weiterer TA-Untersuchungen, gefördert unter anderem durch das BMBF, die EU-Kommission sowie die Parlamente anderer europäischer Länder (Sauter, 2011: 20 f.). Diese befassten sich teilweise explizit mit spekula-

tiven Visionen beziehungsweise Szenarien zukünftiger Anwendungen und Folgen der synthetischen Biologie oder analysierten und diskutierten im Detail die begrifflichen und wissenschaftstheoretischen Dimensionen des neuen Forschungsfeldes – beides Herangehensweisen, die für eine politikberatende TA mit dem Adressaten Bundestag nicht geeignet erschienen, nachdem es für das TAB immer auch darum geht, konkrete Handlungsoptionen entwickeln zu können (Sauter et al., 2015: 33). Um Letzteres trotz der frühen Phase der Technologieentwicklung und den damit verbundenen typischen Problemen einer hochgradig unsicheren Wissenslage leisten zu können, wurde (mit großem Aufwand) drei Kernfragen nachgegangen:

1. Können die eher visionären, spekulativen Forschungsziele und -anwendungen, die unter dem Begriff der synthetischen Biologie diskutiert werden, in praktikabler, aussagekräftiger Art und Weise von denjenigen unterschieden werden, die in absehbarer Zeit konkrete Bedeutung erlangen können?
2. Gibt es gesellschaftlich und damit politisch relevante Entwicklungen, beispielsweise bezüglich der involvierten Akteure und Akteurinnen, dem Umgang mit Wissen und geistigen Eigentumsrechten, die schon heute mit dem Forschungsfeld verbunden sind?
3. Ergeben sich möglicherweise im Bereich der Sicherheitsforschung Fragestellungen, die bereits jetzt prospektiv angegangen werden sollten, um zukünftige Anwendungen überhaupt zu ermöglichen? Und was lässt sich dazu aus den bisherigen Erfahrungen mit der Gentechnologie lernen?

Dem frühen Stadium des Forschungsfeldes war es auch geschuldet, dass nur in geringem Umfang auf einen etablierten, aufgearbeiteten Wissensstand zurückgegriffen werden konnte. Daher musste bereits die Informationsbeschaffung in für das TAB ungewöhnlicher Weise partizipativ gestaltet und über Kurzgutachten und Workshops intensiver als üblich Personen eingebunden werden, die sowohl Fachexpertise als auch klare Positionen und Eigeninteressen mitbrachten, unter anderem aus der Do-it-yourself-Biotechnologie-Szene (DIY) sowie der gentechnikkritischen Zivilgesellschaft (Sauter et al., 2015: 30 ff.). Gegenüber anderen interdisziplinären Stellungnahmen und Berichten (z. B. aus den oben genannten weiteren TA-Projekten) zeichnete sich der resultierende Bericht an den Bundestag durch drei Besonderheiten aus (Sauter et al., 2015):

- Es wurde eine Unterscheidung von Synbio im engeren Sinne (i.e.S.) und Synbio im weiteren Sinne (i.w.S.) eingeführt, um eine Relevanzdifferenzierung für die Forschungspolitik, aber auch für die weitere gesellschaftliche Debatte zu erreichen. Die

Synbio i.e.S. forscht dementsprechend an von Grund auf „designten“ künstlichen biologischen Systemen – die Realisierung dieser Vision ist jedoch weitgehend ungewiss. Synbio i.w.S. bezeichnet demgegenüber die nächste Stufe der Bio- beziehungsweise Gentechnologie, deren Produkte zwar noch nicht praxisreif sind, deren mögliche Folgen aber bereits heute deutlich konkreter absehbar und diskutierbar sind.

- ▶ Auch in Reaktion auf das explizite Interesse des Auftraggebers Bundestag wurde das Phänomen der DIY-Biotechnologie umfassend untersucht und dargestellt. Die DIY-Biologinnen und -Biologen oder „Biohacker/-innen“ bilden eine neuartige Akteursgruppe innerhalb der Zivilgesellschaft, die definitionsgemäß nicht zum etablierten Forschungs- und Innovationssystem gehört und dieses als unzugänglich, teils verkrustet, vor allem aber mit Blick auf den Umgang mit geistigem Eigentum kritisiert. Dies geschieht aber nicht in einer gentechnikablehnenden Perspektive, sondern weil die Nutzung gentechnischer Möglichkeiten demokratisiert werden soll. Die DIY-Biotechnologie repräsentiert eine neue Form der Citizen Science oder Bürgerwissenschaft (Finke, 2014) und eine neuartige Position in der Gentechnikdebatte.³
- ▶ Hinsichtlich der prospektiven Biosicherheitsforschung zur synthetischen Biologie als Basis zukünftiger Risikoabschätzung und -regulierung und damit Voraussetzung einer Zulassung und Nutzung möglicher Produkte wurde herausgearbeitet, auf welche Weise gesellschaftliche Akteure und Akteurinnen bei der Entwicklung entsprechender Programme eingebunden werden könnten beziehungsweise sollten. Dies erscheint nötig, um von vorneherein einem „Lagerdenken“ entgegenzuwirken, das in der Vergangenheit die Debatte über die Risiken gentechnisch veränderter Organismen enorm geprägt und eine weitergehende gesellschaftliche Verständigung verhindert hat.

Sowohl beim Auftraggeber als auch bei vielen an der Gentechnikdebatte beteiligten gesellschaftlichen Meinungsträgern rief der TAB-Bericht und darin insbesondere das Thema DIY-Biologie großes Interesse hervor. Gemeinsam mit dem Ausschuss für Bildung, Forschung und Technikfolgenabschätzung veranstaltete das TAB daraufhin im September 2016 ein öffentliches Fachgespräch unter der Überschrift „Synthetische Biologie, Genome Editing, Biohacking – Herausforderungen der neuen Gentechnologie“, bei dem in einer Problemlösungsperspektive intensiv sowohl die möglichen innovativen Forschungsbeiträge der DIY-Biologie am Beispiel der Antibiotikaforschung als auch

3 Siehe zum Thema DIY auch den Beitrag von Karberg (Spotlight 3).

der Umgang mit ihren potenziellen Gefahren ohne Ressentiments oder Übertreibungen diskutiert wurden.

Dass es dabei gelang, Akteure und Akteurinnen aus Politik, Wissenschaft, Fachbehorörden und Zivilgesellschaft so zusammenzubringen, dass nicht die Kontroverse im Vordergrund stand, sondern die Suche nach Gemeinsamkeiten ein wichtiger Teil der Diskussion war (hib, 2016), lag sicher ebenfalls an dem frühen Stadium des Forschungsfeldes, in dem die Pro- und Kontrapositionen noch nicht so verfestigt sind. Von allen Beteiligten, insbesondere aber seitens der teilnehmenden Bundestagsabgeordneten, wurde der herausragende Stellenwert größtmöglicher Transparenz bezüglich der Aktivitäten und Motive aller mit gentechnischen Arbeiten befassten Forschenden in öffentlichen und privaten Institutionen wie auch der DIY-Biologen und -Biologinnen betont. Sowohl der TAB-Bericht als auch das Fachgespräch hätten dazu einen wichtigen Beitrag geleistet.

10.4 Orientierung durch TA in frühen Entwicklungsstadien

Die beiden Fallbeispiele haben gemeinsam, dass das Wissen über mögliche Folgen ausgesprochen unsicher ist und dementsprechend konkrete Verantwortungsfragen schwer zu beantworten sind. Insbesondere dann, wenn die Spekulativität der Technikzukünfte sehr groß und das Wissen sehr klein ist, erscheint es aussichtslos, in einem konsequentialistischen Sinn über Verantwortungszuschreibung zu sprechen (Grunwald, 2014a). Aber man kann sich trotz großer Unsicherheiten mit der Frage befassen, wie heutige Forschung und die heutige Debatte gestaltet werden könnten beziehungsweise sollten, um die möglichen positiven Technikzukünfte neuer Bio- und Gentechnologien zu unterstützen und den möglichen negativen Entwicklungen entgegenzusteuern (oder sie durch neue Ideen ebenfalls in positive Zukünfte umzuformen). Damit eröffnen sich zwei Typen von Handlungsoptionen: (1) die Gestaltung des gegenwärtigen Forschungsprozesses und (2) die Gestaltung der gegenwärtigen Debatte – beides bezieht sich, wohl gemerkt, auf die heutige Situation, nicht auf die Zukunft einer Gesellschaft, in der neue Bio- oder Gentechnologien mit ihren Produkten Fuß gefasst haben könnten. Die fernen Technikzukünfte selbst sind also nur jeweils Katalysatoren der Diskussion, nicht aber Gegenstand konkreter Folgenabschätzung oder bereits konkreter Verantwortungszuschreibung oder Optionenbewertung:

(Ad 1) Die weitgehende Unmöglichkeit prospektiver Folgenforschung in frühen Stadien der Entwicklung ernst nehmend, kann eine aussichtsreiche Gestaltung auf den gegenwärtigen Forschungsprozess in Bio- und Gentechnologie fokussieren. Dieser findet faktisch statt und bedarf keiner prospektiven Analyse, sondern kann zum Beispiel

mit den Risikobedenken einer notwendigen wie auch hinreichenden Biosafety (die Sicherheits- und Qualitätsstandards von Forschung betreffend zum Schutz vor einer unbeabsichtigten Gefährdung, z. B. durch Freisetzung) und Biosecurity (den Schutz vor einem möglichen Missbrauch von Forschung betreffend, z. B. mit terroristischer Absicht) konfrontiert werden. Oder es können die zukünftigen Möglichkeiten, Grenzen und Gefahren der DIY-Biotechnologie mit Blick auf eine mögliche Förderung und Unterstützung heute thematisiert werden. Verantwortungsgegenstand ist somit der heutige Forschungsprozess in seinen, handlungstheoretisch gesprochen, Zielen, Mitteln und Folgen.

Die Entwicklung der Gentechnologie ist begleitet und geprägt von einer (wissenschaftlichen und regulativen) Debatte über Fragen prozessimmanenter vs. produktbasierter Risiken. Prozessimmanente Risiken können in gewissem Umfang prospektiv und – im Unterschied zu produktbasierten Risiken – ohne die Verfügbarkeit konkreter Produkte betrachtet und analysiert werden. Zumindest kann versucht werden zu antizipieren, welche neuartigen Risiken beziehungsweise Unsicherheiten auftreten können und wie mit diesen umgegangen werden kann und soll. Bei der synthetischen Biologie wird seit längerer Zeit darauf hingewiesen, dass das bisherige Verfahren der Risikobewertung, das auf einer Fall-für-Fall-Prüfung und auf einem Vergleich mit weitgehend ähnlichen (substanziell äquivalenten), seit Langem genutzten (und vertrauten) Organismen basiert, durch mehrere wissenschaftlich-technologische Entwicklungen infrage gestellt wird (Sauter et al., 2015: 22). Die zentrale (Forschungs-)Frage, in welchem Umfang und mit welchen Methoden substanziell veränderte oder weitgehend „neu konstruierte“, vermehrungs- und ausbreitungsfähige Organismen charakterisiert werden können und müssen, um eine gesellschaftlich akzeptable Entscheidungsfindung über die Nutzung dieser Organismen herbeiführen zu können, könnte und sollte bereits jetzt angegangen werden.

Ein analoges Vorgehen ist für die Anwendungsszenarien nicht der Fall, weil die möglichen Produkte der synthetischen Biologie (u. a. Medikamente, Energieträger, Aromen, Lebensmittelzusatzstoffe) nicht kategorial anders als bisherige Produkte sind – genauso war und ist es im Fall der bisherigen Gentechnik. Aber die synthetische Biologie bietet ein zweites Beispiel für eine aus möglichen Zukünften abgeleitete konkrete Forschungs- beziehungsweise Innovationsanregung bereits heute: Die systematische Eruierung der Möglichkeiten der DIY-Biologie-Szene durch eine breitere Förderung und offene Diskussion ihrer Ergebnisse, aber auch ihrer Restriktionen (ausführlich hierzu: Sauter et al., 2015: 191 ff.). Anlass hierfür sind nicht etwa bereits jetzt absehbare konkrete Vorhaben oder Produkte, sondern das mögliche Veränderungspotenzial in gesellschaftlicher, gegebenenfalls sozioökonomischer Hinsicht aufgrund der Tech-

nikaffinität und der gemeinschaftlichen Herangehensweise (Stichworte „Open Source“ und „Open Access“, „Beteiligung als Prinzip“). Auch das Potenzial im Bildungsbereich erscheint durchaus hoch. Technikzukünfte bilden innerhalb der DIY-Biologie-Community ein sehr wichtiges verbindendes und motivierendes Element.

(Ad 2) Ebenfalls ohne eine Zukunftsvorhersage im eigentlichen Sinn kommt der Ansatz aus, die Visionen, Hoffnungen und Befürchtungen zu neuen Bio- und Gentechnologien als Ausdruck heutiger Befindlichkeiten in den Blick zu nehmen (statt als Beschreibungen oder Prognosen möglicher Zukünfte). Denn diese werden ja *heute* geäußert und bestimmen einen guten Teil der gesellschaftlichen Debatte, wobei einerseits heilsähnliche Erwartungen hinsichtlich der Rettung zum Beispiel aus der drohenden globalen Energiekrise oder der Bekämpfung von Krankheiten geäußert, andererseits aber Befürchtungen menschlicher Hybris oder des „Gott Spielens“ formuliert werden. In einem hermeneutischen Blick (Grunwald, 2016a; Grunwald, 2016b) als Erweiterung der folgenorientierten TA geht es um die Deutung der düsteren wie der hellen (in der Gesellschaft vorhandenen) Zukunftsbilder zu neuen Bio- und Gentechnologien, um die durch sie ausgelösten Kontroversen und die dahinterstehenden Wahrnehmungen, Sorgen und Befürchtungen. Es ist zu klären, worum es in den häufig als spekulativ zu veranschlagenden Debatten zu zukünftigen Bio- und Gentechnologien „wirklich“ geht: Was steht für wen auf dem Spiel? Welche Interessen werden berührt? Welche Rechte werden möglicherweise beeinträchtigt? Welche Menschen-, Natur- und Technikbilder entwickeln sich und wie verändern sie sich? Welche anthropologischen Fragen sind involviert, und welche Gesellschaftsentwürfe in den Zukunftsprojektionen schwingen mit? Eine hermeneutisch erweiterte Technikfolgenabschätzung kann einerseits gegenwärtige Debatten über sich selbst aufklären und kommende Debatten vorbereiten, in denen es dann zum Beispiel um die konkrete Technikgestaltung gehen könnte (Grunwald, 2016a). Ein „Vision Assessment“ (Grunwald, 2009) kann in diesem Rahmen technikbasierte Visionen in ihren kognitiven und evaluativen Gehalten und in Bezug auf ihre Folgen untersuchen und den grundlegenden Baustein eines offenen, kognitiv informierten und normativ orientierten Dialoges bilden, zum Beispiel zwischen Experten und Expertinnen und Öffentlichkeit oder zwischen synthetischer Biologie, Ethik, Forschungsförderung, Öffentlichkeit und Regulierung. Auf diese Weise wird dem Ansatz, bereits in frühen Phasen von Technikdebatten auch angesichts hochgradig unsicherer und weit in der Zukunft liegender Zukunftsvorstellungen offene Dialoge zu führen (vgl. das Beispiel der künstlichen Fotosynthese oben), ein alternatives beziehungsweise komplementäres Vorgehen zur Seite gestellt. Verantwortung in und für neue Gen- und Biotechnologien heute zu übernehmen, bedeutet dann nicht, sich Gedanken um Jahrzehnte in der Zukunft liegende und daher nur spekulativ erschließbare Zukünfte zu

machen, sondern sich auf heutige Entscheidungen sowohl im Forschungsprozess als auch in der Ausgestaltung der gesellschaftlichen Debatte zu konzentrieren.

Während das Beispiel zur synthetischen Biologie (10.3.2) genau das leisten sollte, ist das Beispiel zur künstlichen Fotosynthese (10.3.1) anders gelagert. Hier gibt es aufgrund einer weitgehend fehlenden Debatte noch gar keine Technikzukünfte, die hermeneutisch in Bezug auf die heutige Situation und die nächsten anstehenden Schritte analysiert und reflektiert werden könnten. Stattdessen ging es hier zunächst darum, solche Zukunftsüberlegungen zu entwerfen und damit Grundlagen für eine (möglicherweise) kommende Debatte zu legen.

Insgesamt hat die TA in den letzten ca. 15 Jahren eine Reihe von Verfahren entwickelt, mit der spezifischen Situation in frühen bis sehr frühen Entwicklungsstadien von Technik umzugehen und Orientierung für Politik und Gesellschaft auch dann zu erbringen, wenn Folgenwissen in einem klassisch konsequentialistischen Sinn noch kaum oder gar nicht vorhanden ist. Damit liegen konzeptionelle und methodische Bausteine für TA vor, die Technikentwicklung von den frühesten Anfängen über gezielte Entwicklung bis hin zu Innovationen begleitet und dabei, je nach Entwicklungsstand und verfügbarem Wissen, unterschiedliche Ansätze verwendet (Guston/Sarewitz, 2002; Grunwald, 2018).

10.5 Ausblick

Die TA zu neuen Bio- und Gentechnologien wird auch in Zukunft in zwei Richtungen arbeiten, aber die Gewichtung kann sich verschieben:

- ▶ Zum einen wird sie sich, wie bisher, mit konkreten Folgenfragen spezifischer Technologien befassen und Optionen entwickeln, wie in konkreten Feldern im konsequentialistischen Paradigma Orientierung für Entscheidungsträger/-innen und die demokratische Öffentlichkeit bereitgestellt werden kann.
- ▶ Zum anderen wird TA weiterhin mit den „großen Fragen“ konfrontiert werden, so etwa zum Verhältnis von Leben und Technik, Mensch und Technik, Kultur und Natur sowie Evolution und menschlicher Intervention. Die Fallbeispiele in 10.4 haben deutlich gezeigt, dass sich hinter den Fragen nach Folgen und Implikationen spezifischer Technologien auch Fragen nach dem Selbstverständnis des Menschen in einer immer stärker technisch geprägten Welt verbergen. Die spezifische Aufgabe der TA besteht gemäß ihrer normativen Positionierung (Grunwald, 2018) darin, einerseits Expertenwissen aus den relevanten Disziplinen, hier zum Beispiel der Philosophie, andererseits Perspektiven von Stakeholdern und Betroffenen in einer inklusiven

und reflexiven Weise zusammen zu bringen, um durch die Entwicklung von alternativen Optionen gesellschaftliche Meinungsbildung und Entscheidungsfindung zu beraten.

Technikfolgenabschätzung wird sich daher interdisziplinär weiter verbreitern müssen: Der hermeneutische Blick hinter die Kulissen politischer Debatten erfordert die Einbeziehung von Kulturwissenschaften, Sprachwissenschaften und Philosophie, ohne dabei an biologischem und technischem Sachverstand Abstriche zu machen.

Eine weitere Herausforderung an die TA zu neuen Bio- und Gentechnologien wird vermittelt über Verschiebungen in der gesellschaftlichen Erwartung an Partizipation. In vielen westlichen Ländern sind die Ansprüche an Beteiligung von Bürgerinnen und Bürgern oder Stakeholdern an wesentlichen Zukunftsentscheidungen gewachsen, während das Zutrauen in eine rein repräsentative Demokratie gesunken ist. Partizipation an der Meinungsbildung über neue Technologien und ihre Nutzung ist gefragt. Auch im Bereich parlamentarischer TA, eigentlich ein Hort der Politikberatung im System repräsentativer Demokratie, wird diese veränderte Erwartungshaltung berücksichtigt werden müssen.

10.6 Literatur

acatech (Hrsg.) (2012a): Technikzukünfte. Vorausdenken – Erstellen – Bewerten. acatech Impuls. Springer, Heidelberg.

acatech (Hrsg.) (2012b): Perspektiven der Biotechnologie. Kommunikation. Kontroversen – Randbedingungen – Formate. acatech Position. Springer, Heidelberg.

acatech (Hrsg.) (2016): Technik gemeinsam gestalten. Frühzeitige Einbindung der Öffentlichkeit am Beispiel der Künstlichen Fotosynthese. Herbert Utz, München.

Collingridge, D. (1980): *The Social Control of Technology*. St. Martin's Press, New York.

Daele, W. van den/Döbert, R. (1995): Veränderungen der äußeren Natur. Partizipative Technikfolgenabschätzung. In: Funkkolleg Technik, Studienbrief 4/11. Deutsches Institut für Fernstudienforschung, Tübingen.

DFG = Deutsche Forschungsgemeinschaft, Deutsche Akademie der Technikwissenschaften acatech, Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina – Nationale Akademie der Wissenschaften (Hrsg.) (2009): *Synthetische Biologie*. Stellungnahme. Wiley-Vch, Weinheim.

Dobroc, P. et al. (2018): Alternativen als Programm. Plädoyer für einen Perspektivenwechsel in der Technikfolgenabschätzung. *Technikfolgenabschätzung in Theorie und Praxis* 27: 18–23.

Finke, P. (2014): *Citizen Science. Das unterschätzte Wissen der Laien*. Oekom, München.

- Giese, B. et al. (2014): *Synthetic Biology. Character and Impact*. Springer, Heidelberg.
- Grunwald, A. (2009): Vision Assessment Supporting the Governance of Knowledge. The Case of Futuristic Nanotechnology. In: Bechmann, G. et al. (Hrsg.): *The Social Integration of Science. Institutional and Epistemological Aspects of the Transformation of Knowledge in Modern Society*. Edition Sigma, Berlin: 147–170.
- Grunwald, A. (2010): *Technikfolgenabschätzung. Eine Einführung*. Edition Sigma, Berlin.
- Grunwald, A. (2012): *Technikzukünfte als Medium von Zukunftsdebatten und Technikgestaltung*. Karlsruhe.
- Grunwald, A. (2014a): Technology Assessment for Responsible Innovation. In: Hoven, J. van den et al. (Hrsg.): *Responsible Innovation 1*. Springer, Dordrecht: 15–32.
- Grunwald, A. (2014b): Synthetic Biology as Technoscience and the EEE Concept of Responsibility. In: Giese, B. M. et al. (Hrsg.): *Synthetic Biology. Character and Impact*. Springer, Heidelberg: 249–266.
- Grunwald, A. (2015): Technology Assessment and Design for Values. In: Hoven, J. van den et al. (Hrsg.): *Handbook of Ethics, Values, and Technological Design*. Springer, Dordrecht: 67–86. DOI: 10.1007/978-94-007-6970-0.
- Grunwald, A. (2016a): *The Hermeneutic Side of Responsible Research and Innovation*. Wiley-ISTE, London.
- Grunwald, A. (2016b): Synthetic Biology. Seeking for Orientation in the Absence of Valid Prospective Knowledge and of Common Values. In: Hansson, S. O. Hirsch Hadorn, G. (Hrsg.): *The Argumentative Turn in Policy Analysis*. Springer, Heidelberg: 325–346.
- Grunwald, A. (2018): *Technology Assessment. From Practice to Theory*. Taylor & Francis (im Erscheinen).
- Grunwald, A. et al. (2012): *Wissen für das Parlament. 20 Jahre Technikfolgenabschätzung am Deutschen Bundestag*. Edition Sigma, Berlin.
- Guston, D./Sarewitz, D. (2002): Real-Time Technology Assessment. In: *Technology in Society* 24(1–2): 93–109.
- Habermas, J. (1968): Verwissenschaftlichte Politik und öffentliche Meinung. In: Habermas, J. (Hrsg.): *Technik und Wissenschaft als Ideologie*. Suhrkamp, Frankfurt: 120–145.
- hib (2016) = heute im bundestag: Biohacking und Synthetische Biologie. In: hib 564/2016. Unter: <https://www.bundestag.de/presse/hib/201609/-/462200> [13.05.2018].
- Jonas, H. (1979): *Das Prinzip Verantwortung. Versuch einer Ethik für die technologische Zivilisation*. Insel, Frankfurt/M.
- Joss, S./Belucci, S. (Hrsg.) (2002): *Participatory Technology Assessment. European Perspectives*. Centre for Study of Democracy, London.
- Owen, R. et al. (2013): *Responsible Innovation: Managing the Responsible Emergence of Science and Innovation in Society*. Chichester, Wiley.
- PACITA (2012) = *Parliaments and Civil Society in Technology Assessment: TA Practices in Europe*. Report of the PACITA project. Unter: <http://www.pacitaproject.eu/wp-content/uploads/2013/01/TA-Practices-in-Europe-final.pdf> [22.05.2018].

- Paschen, H./Petermann, T. (1992): Technikfolgenabschätzung. Ein strategisches Rahmenkonzept für die Analyse und Bewertung von Technikfolgen. In: Petermann, T. (Hrsg.): Technikfolgen-Abschätzung als Technikforschung und Politikberatung. Campus, Frankfurt: 19–42.
- Petermann, T. (2005): Das TAB – Eine Denkwerkstatt für das Parlament. In: Petermann, T./Grunwald, A. (Hrsg.): Technikfolgenabschätzung für den Deutschen Bundestag. Das TAB – Erfahrungen und Perspektiven wissenschaftlicher Politikberatung. Edition Sigma, Berlin: 14–65.
- Petermann, T./Grunwald, A. (Hrsg.) (2005): Technikfolgen-Abschätzung am Deutschen Bundestag. Das TAB – Erfahrungen und Perspektiven wissenschaftlicher Politikberatung. Edition Sigma, Berlin.
- Sauter, A. (2005): Grüne Gentechnik? Folgenabschätzung der Agrobiotechnologie. In: Petermann, T./Grunwald, A. (Hrsg.): Technikfolgen-Abschätzung für den Deutschen Bundestag. Das TAB – Erfahrungen und Perspektiven wissenschaftlicher Politikberatung. Edition Sigma, Berlin: 116–146.
- Sauter, A. (2011): Synthetische Biologie. Finale Technisierung des Lebens – oder Etikettenschwindel? In: TAB-Brief 39: 23–30.
- Sauter, A. et al. (2015): Synthetische Biologie – die nächste Stufe der Biotechnologie. Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag, TAB-Arbeitsbericht Nr. 164, Berlin.
- Schomberg, R. von (2005): The Precautionary Principle and its Normative Challenges. In: Fisher, E. et al. (Hrsg.): The Precautionary Principle and Public Decision Making. Edward Elgar, Cheltenham: 161–165.
- VDI (1991) = Verein Deutscher Ingenieure: Richtlinie 3780 Technikbewertung. Begriffe und Grundlagen. Düsseldorf.
- Vig, N./Paschen, H. (Hrsg.) (1999): Parliaments and Technology Assessment. The Development of Technology Assessment in Europe. State University of New York Press, Albany.
- Vriend, H. de (2006): Constructing Life. Early Social Reflections on the Emerging Field of Synthetic Biology. Rathenau Institute, The Hague.
- ZKBS (2012) = Zentrale Kommission für die Biologische Sicherheit: Monitoring der Synthetischen Biologie in Deutschland. 1. Zwischenbericht der Zentralen Kommission für die Biologische Sicherheit vom 06. November 2012. Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL), Az.: 46012. Unter: https://www.bvl.bund.de/SharedDocs/Downloads/06_Gentechnik/ZKBS/01_Allgemeine_Stellungnahmen_deutsch/01_allgemeine_Themen/Synthetische_Biologie.pdf?__blob=publicationFile&v=3 [22.05.2018].