



> Technik gemeinsam gestalten

Frühzeitige Einbindung der Öffentlichkeit
am Beispiel der Künstlichen Fotosynthese

acatech (Hrsg.)

acatech IMPULS

Februar 2016

Herausgeber:

acatech – DEUTSCHE AKADEMIE DER TECHNIKWISSENSCHAFTEN, 2016

Geschäftsstelle
Karolinenplatz 4
80333 München

Hauptstadtbüro
Pariser Platz 4a
10117 Berlin

Brüssel-Büro
Rue d'Egmont/Egmontstraat 13
1000 Brüssel
Belgien

T +49 (0) 89 / 5 20 30 90
F +49 (0) 89 / 5 20 30 9-900

T +49 (0) 30 / 2 06 30 96 0
F +49 (0) 30 / 2 06 30 96 11

T +32 (0) 2 / 2 13 81 80
F +32 (0) 2 / 2 13 81 89

E-Mail: info@acatech.de
Internet: www.acatech.de

Empfohlene Zitierweise:

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

ISSN: 2195-1829 / ISBN: 978-3-8316-4496-4

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie;
detaillierte bibliografische Daten sind im Internet unter <http://dnb.dnb.de> abrufbar.

Copyright © Herbert Utz Verlag GmbH • 2016

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Koordination: Dr. Marc-Denis Weitze

Redaktion: Linda Treugut

Layout-Konzeption: acatech

Konvertierung und Satz: Fraunhofer-Institut für Intelligente Analyse und Informationssysteme IAIS,
Sankt Augustin

Gedruckt auf säurefreiem Papier

Printed in EC

Herbert Utz Verlag GmbH, München

T +49 (0) 89 / 27 77 91 00

Internet: www.utzverlag.de

Die Originalfassung der Publikation ist verfügbar auf www.utzverlag.de

> DIE REIHE acatech IMPULS

In dieser acatech Reihe erscheinen Analysen und Denkanstöße zu Grundfragen der Technikwissenschaften sowie der wissenschaftsbasierten Politik und Gesellschaftsberatung. Die Impulse werden von acatech Mitgliedern und weiteren Experten erarbeitet und vom acatech Präsidium autorisiert und herausgegeben.

Alle bisher erschienenen acatech Publikationen stehen unter www.acatech.de/publikationen zur Verfügung.

INHALT

KURZFASSUNG	7
PROJEKT	9
1 EINLEITUNG	11
2 FRÜHZEITIGE EINBINDUNG DER ÖFFENTLICHKEIT: DISKUSSIONSSTAND, BEISPIELE, ZIELE	13
2.1 Bessere Technik durch frühzeitige Einbindung der Öffentlichkeit? Vision und Herausforderungen	16
2.2 Herausforderungen einer frühzeitigen Einbindung	17
3 VORAUSDENKEN, ERSTELLEN UND BEWERTEN VON TECHNIKZUKÜNFTEN	21
4 KÜNSTLICHE FOTOSYNTHESE: HERAUSFORDERUNG, VISION UND FORSCHUNGSAKTIVITÄTEN	25
4.1 Herausforderung und Vision	25
4.2 Forschungsaktivitäten	26
5 PROJEKTMETHODIK UND -VERLAUF	31
6 VORAUSDENKEN UND ERSTELLEN VON TECHNIKZUKÜNFTEN DER KÜNSTLICHEN FOTOSYNTHESE (PROJEKT TEIL 1)	33
6.1 Workshop zur Erhebung des Forschungsstandes	33
6.2 Auswahl, Konkretisierung und Formulierung von Technikzukünften	33
6.3 Drei Darstellungen von Technikzukünften der Künstlichen Fotosynthese	34
7 DISKUSSION UND BEWERTUNG VON TECHNIKZUKÜNFTEN (PROJEKT TEIL 2)	41
7.1 Science & Technology Café	41
7.2 Konzeption weiterer Dialogveranstaltungen	41
7.3 Comic-Workshop	42
7.4 Science Café München	45
7.5 Science Café Tegernsee	47
7.6 Studierenden-Workshop	48
7.7 Ergebnisse der Dialogveranstaltungen	49
8 FAZIT	51
LITERATUR	53
ANHANG: WORKSHOP-PROGRAMME	57

KURZFASSUNG

Wie sieht die Energieversorgung der Zukunft aus? Können wir auf knappe fossile Energieträger verzichten? Lassen sich Erneuerbare Energien effizient speichern? Auf die Fragen zum zukünftigen Energiesystem sind innovative Antworten gefragt. Die Künstliche Fotosynthese ist eine visionäre Technologie, die zum Energiemix einen wichtigen Beitrag leisten könnte. Nach dem Vorbild der Pflanzen nutzt die Künstliche Fotosynthese Sonnenlicht, um aus den Rohstoffen Wasser und CO_2 energiereiche Kohlenwasserstoffe herzustellen. Diese können als Energieträger direkt energetisch genutzt werden, etwa als Treibstoffe. Oder sie werden als Chemierohstoffe in nutzbare Chemikalien umgewandelt. Hierbei geht die Künstliche Fotosynthese nicht den Umweg über Biomasse, die anschließend weiter umgewandelt oder schlicht verbrannt wird. Ein anderer Ansatz der Künstlichen Fotosynthese besteht darin, aus Sonnenenergie Elektrizität beispielsweise durch Fotovoltaik zu erzeugen und zur Elektrolyse von Wasser einzusetzen. Es entsteht energiereicher Wasserstoff. Beide Ansätze bieten zahlreiche Chancen für eine nachhaltige Energiewende: Sonnenlicht ist eine unerschöpfliche Ressource und überall auf der Welt kostenlos verfügbar. Die Sonnenenergie lässt sich effizient in chemischen Verbindungen speichern. Da die Treibstoffe aus bereits vorhandenem CO_2 erzeugt werden, entstehen bei ihrer Verbrennung keine neuen Emissionen.

Die Technologie befindet sich noch in einem sehr frühen Entwicklungsstadium und die technischen Realisierungsmöglichkeiten sind allenfalls in Ansätzen erkennbar. Zum jetzigen Zeitpunkt lassen sich weder ihre Chancen noch Grenzen genau benennen. Der mögliche Einsatz von Gentechnik oder Schwermetall-Katalysatoren könnte Kontroversen zur Folge haben. Für Wissenschaft und Wirtschaft wäre es von Vorteil, so früh wie möglich von den Vorbehalten in der Bevölkerung sowie den Bedingungen der Akzeptanz zu erfahren. Die Öffentlichkeit sollte also frühzeitig in die Entwicklung der Künstlichen Fotosynthese eingebunden werden. Gleichzeitig können Bürgerinnen und Bürger zu

einem frühen Zeitpunkt die Technologie und ihren Einsatz mitgestalten, anstatt sie später nur zu nutzen oder als Betroffene zu erleben.

Die Akzeptanz von Technik hängt von Vertrauen ab. Doch den Menschen fehlen oftmals noch die Gelegenheiten, ihre Wünsche und Bedenken sowie Vorstellungen von der Zukunft kundzutun. Dabei sollten Wissenschaft, Wirtschaft und Politik die Hoffnungen, Befürchtungen und Bewertungen der verschiedenen gesellschaftlichen Akteure berücksichtigen und ernst nehmen. Das Expertenwissen muss um die Laienwahrnehmung, um gesellschaftliche Werte und Visionen ergänzt werden. Nur so können sachlich adäquate und moralisch gerechtfertigte Entscheidungen für die Zukunft getroffen werden. Partizipation oder Citizen Science sind wichtige Schlagworte für den Technik-Dialog mit Bürgerinnen und Bürgern. Ein Patentrezept für die geforderte Einbindung der Öffentlichkeit gibt es dabei nicht.

Erste Erfahrungen sammelte acatech in diesem Projekt „Künstliche Fotosynthese – Entwicklung von Technikzukünften“. Dabei traten Wissenschaftler und Kommunikationsexperten mit Teilen der Öffentlichkeit in einen Dialog über Ideen, Wertvorstellungen und Sorgen zum Innovationsfeld Künstliche Fotosynthese.

Um die Künstliche Fotosynthese in ihrem frühen Forschungsstadium für interessierte Bürgerinnen und Bürger verständlich zu machen, entwarf die Projektgruppe unterschiedliche Technikzukünfte als Diskussionsgrundlage für Dialogveranstaltungen. Diese Methode der Technikkommunikation übersetzt Forschungsergebnisse in Geschichten, die beschreiben, wohin die Reise gehen könnte und wie eine mögliche Zukunft aussehen kann, beispielsweise mit Künstlicher Fotosynthese. Sie beschreiben sowohl die Gesellschaft als auch die Technik und können unterschiedlicher Gestalt sein, zum Beispiel wissenschaftliche Vorausschau, literarische oder filmische Science Fiction-Szenarien oder Berichte in den Massenmedien. Die

Technikzukünfte zur Künstlichen Fotosynthese, welche die Projektgruppe für den Dialog mit der Öffentlichkeit entwarf, drehen sich um Mikroalgen und Wasserlinsen, die als grüne Zellfabriken energiereiche Stoffe produzieren. Oder um Nanokügelchen, die in einem elektrokatalytischen Prozess aus Wasser und CO₂-haltigen Industrieabgasen energiereiches Methangas herstellen. Eine weitere Technikzukunft beschreibt transparente organische Solarzellen, die als Baumaterialien aus Gebäudefassaden ein Kraftwerk zur Stromproduktion machen. Auf verschiedenen Dialogveranstaltungen stellte acatech diese Technikzukünfte in Form von Zukunftsgeschichten interessierten Laien, Studierenden sowie Schülerinnen und Schülern vor und diskutierte sie mit ihnen. Die Formate reichten von Science-Cafés über ein Seminar bis hin zum Comic-Workshop, bei dem die Teilnehmerinnen und Teilnehmer ihre Vorstellungen in Zeichnungen visualisierten.

Die Projektgruppe lernte die Ideen und Kritikpunkte der Teilnehmer kennen und erfuhr, welche Aspekte der Künstlichen Fotosynthese diese als Chancen und welche als Risiken wahrnehmen. Viele befürchteten, dass die gentechnisch veränderten Organismen freigesetzt werden könnten, etwa bei Unfällen. Kritische Fragen betrafen den Wirkungsgrad und die Wirtschaftlichkeit der Künstlichen Fotosynthese. Auch der Wasser- und Energieverbrauch sowie der Einsatz von Dünger wurden skeptisch betrachtet. Als Chance bewerteten die Teilnehmer die Verwendung von Industrieabgasen. Die organische Fotovoltaik inspirierte viele zu originellen Anwendungsideen.

Der Ansatz der Technikzukünfte hat sich in den Dialogformaten bewährt. Die Geschichten eröffneten den Teilnehmerinnen und Teilnehmern einen Zugang zur Künstlichen Fotosynthese, machten die Technologie für Laien verständlich und dienten als Ausgangspunkt für die Diskussionen. Dabei stießen die Veranstalter auch auf ein Dilemma: Einerseits ist eine Einbindung der Bürgerinnen und Bürger besonders zu einem frühen Zeitpunkt der Technikentwicklung zur Künstlichen Fotosynthese sinnvoll, wenn es noch Gestaltungsspielraum gibt. Andererseits ist die Künstliche Fotosynthese in diesem Entwicklungsstadium noch relativ unbekannt, wird medial kaum kontrovers dargestellt und besitzt nur geringe Relevanz für das Leben der Teilnehmer. Bei komplexen visionären Themen wie der Künstlichen Fotosynthese muss das Interesse der Teilnehmer also erst geweckt werden, zum Beispiel über Technikzukünfte. Die Art der Darstellung des Themas, ob als Comic, in einer Ausstellung, in den Massenmedien oder verpackt in eine Geschichte, lenkt dabei freilich die Diskussion und beeinflusst Wahrnehmung und Bewertung.

Fazit

- Eine frühzeitige Einbindung der Öffentlichkeit in Technikgestaltung ist heute unverzichtbar.
- Die Diskussion anhand von Technikzukünften hat sich bewährt.
- Allgemeine Herausforderungen der Wissenschaftskommunikation sind zu beachten.
- Neue Formate sind zu entdecken und zu testen.
- Die Rolle der Medien ist zu untersuchen.
- Die frühzeitige Einbindung der Öffentlichkeit auf weitere Technikfelder ist angezeigt.

PROJEKT

> PROJEKTLEITUNG

- Prof. Dr. Armin Grunwald, Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
- Prof. Dr. rer. nat. habil. Alfred Pühler, Universität Bielefeld

> KONZEPTION UND FEDERFÜHRENDER AUTOR

Dr. Marc-Denis Weitze, acatech Geschäftsstelle/Technische Universität München

> PROJEKTGRUPPE

- Prof. Dr. rer. nat. habil. Frank Behrendt, Technische Universität Berlin/acatech
- Prof. Dr. rer. nat. Wolfgang M. Heckl, Deutsches Museum/Technische Universität München/acatech
- Prof. em. Dr. rer. nat. Dr. h. c. Hartwig Höcker, RWTH Aachen/acatech
- Prof. Dr. Dr. h. c. Wolfgang Lubitz, Max-Planck-Institut für Chemische Energiekonversion
- Prof. Dr. rer. nat. habil. Bernd Müller-Röber, Universität Potsdam/acatech
- Prof. Dr. Dr. h. c. Bernhard Rieger, Technische Universität München/acatech
- Prof. Dr. Thomas Scheper, Gottfried-Wilhelm-Leibniz-Universität Hannover/acatech
- Prof. Dr. rer. nat. Eicke Weber, Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE/acatech

> WEITERE BETEILIGTE

Prof. Dr. Huub de Groot (TU Eindhoven), Prof. Dr. Olaf Kruse (Universität Bielefeld), Dr. Uli Würfel (Fraunhofer-Institut Solare Energiesysteme), Dr. Maximilian Fleischer (Siemens AG),

Dr. Günter Schmid (Siemens AG), Dr. Jens Busse (Evonik Industries AG), Dr. Sascha Hoch (Evonik Industries AG) haben an der Ausformulierung einzelner Technikzukünfte mitgewirkt.

An einzelnen Dialogveranstaltungen waren beteiligt: Wolfgang Goede (München, Wissenschaftsjournalist) als Story Teller, Philipp Schrögel (Karlsruhe, Wissenschaftskommunikator) als Leiter des Comic-Workshops, Dr. Rüdiger Goldschmidt (Stuttgart, Sozialwissenschaftler) als Leiter des Science Cafés Tegernsee sowie Dr. Stephan Schleissing (Institut Technik – Theologie – Naturwissenschaften an der LMU München) als Kooperationspartner beim Studierenden-Workshop. Laura Bittner hat im Rahmen ihrer Bachelorarbeit (TU Berlin) an der Vorbereitung und Auswertung der Dialogveranstaltungen mitgewirkt.

Dr. Achim Eberspächer, Simon Märkl und Lars Tebelmann (acatech Geschäftsstelle) haben an der Textredaktion mitgewirkt.

Wir danken den Kooperationspartnern und Teilnehmern der Workshops und der Dialogveranstaltungen.

> REVIEWER

- Prof. Dr. Ortwin Renn (Universität Stuttgart, Review-Leiter)
- Prof. Dr. Matthias Beller, Leibniz-Institut für Katalyse an der Universität Rostock e.V.
- Prof. Dr. Thomas Bley (Technische Universität Dresden)
- Prof. Dr. Dietram A. Scheufole (University of Wisconsin-Madison, USA)
- Dr. Steffi Ober (Vereinigung Deutscher Wissenschaftler VDW e.V.)

acatech dankt allen externen Fachgutachtern. Die Inhalte des vorliegenden Impulses liegen in der alleinigen Verantwortung von acatech.

> PROJEKTVERLAUF

Projektlaufzeit: 10/2013 – 12/2015

Dieser acatech IMPULS wurde im Dezember 2015 durch das acatech Präsidium syndiziert.

> FINANZIERUNG

Teil 1 des Projekts (Vorausdenken und Erstellen von Technikzukünften der Künstlichen Fotosynthese) wurde durch die Philip Morris Stiftung finanziell unterstützt. acatech dankt darüber hinaus dem acatech Förderverein für seine Unterstützung.

1 EINLEITUNG

„Wissenschaft mit der und für die Gesellschaft“, Partizipation, Citizen Science – diese Schlagworte beschreiben die Forderung, Akteure jenseits von Wissenschaft, Wirtschaft und Politik in die Gestaltung von Wissenschaft und Technik einzubinden. Statt Innovation separat von der Öffentlichkeit entstehen zu lassen und erst nachträglich die Informationen dazu zu verbreiten und Akzeptanz zu schaffen, sollen bereits in einer frühen Phase – etwa schon bei der Festlegung von Forschungszielen und -agenden – Teile der Öffentlichkeit einbezogen werden. Die Öffentlichkeit soll dabei gesellschaftlichen Wandel durch technische Innovationen nicht nur nachvollziehen, sondern begleiten, möglicherweise auch aktiv mitgestalten.

Wie sich das konkret bewerkstelligen lässt – dafür gibt es kein Patentrezept, sondern bislang allenfalls einzelne Beispiele. In dem acatech Projekt „Künstliche Fotosynthese – Entwicklung von Technikzukünften“ sollten Teile der Öffentlichkeit (und damit spätere Nutzer und Betroffene) in die Gestaltung neuer Technologien – hier am Beispiel der Künstlichen Fotosynthese – eingebunden werden. Dies ist ein neuer Ansatz für die Arbeit der Deutschen Akademie der Technikwissenschaften, die bislang vorrangig Wissensbestände und Bewertungen aus Wissenschaft und Wirtschaft in die Projektarbeit integriert. Ziele, Möglichkeiten (direkte oder indirekte Effekte auf die Technikgestaltung) und Herausforderungen werden dabei deutlich und geben Hinweise, wie sich solch eine frühzeitige Einbindung der Öffentlichkeit systematisieren lässt.

Als Beispieltechnologie dient die Künstliche Fotosynthese – die direkte Umwandlung von Sonnenlicht in chemische Energie oder Elektrizität. Als methodischer Zugang spielen Zukunftsentwürfe, sogenannte Technikzukünfte, die zentrale Rolle. Diese betonen die Offenheit und die Unsicherheiten der Technikentwicklung. Es werden Fragen wie die folgenden thematisiert: Wo liegen die Herausforderungen, die nach Innovationen verlangen? Welche Nutzungspfade bevorzugen die Nutzerinnen und Nutzer, weitere Interessengruppen und

welche die Bürgerinnen und Bürger? Wie schätzen diese unterschiedlichen Gruppen Chancen und Risiken verschiedener Problemlösungen ein?

Hintergrund

Ausgangspunkte für dieses Projekt war eine Analyse seitens acatech zur Biotechnologie-Kommunikation der vergangenen Jahrzehnte. Die Akademie empfiehlt, „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.“¹ Es ist zu untersuchen, „wie Informationen und Meinungen vonseiten der Öffentlichkeit systematisch in Wissenschaft und Wirtschaft wahrgenommen beziehungsweise aufgenommen werden können.“² 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.“³ Hier wird ein Experimentierfeld der Wissenschaftskommunikation beschrieben, das jetzt nach konkreten (Versuchs-)Ansätzen verlangt, die jeweils zu reflektieren sind.

Technikzukünfte als Medium der Technikgestaltung waren bereits das Thema eines acatech IMPULSES aus dem Jahr 2012: „Technikzukünfte sind in demokratischen Gesellschaften immer Gegenstand öffentlicher Debatten. Zumeist setzt die breite Reflexion jedoch erst ein, wenn es schon zu spät ist. Angesichts möglicher sozialer Kosten ist es vernünftig, Vorausdenken, Erstellen und Bewerten von Technikzukünften zunehmend als öffentliche Aufgabe zu begreifen. Der gesellschaftliche Verständigungsprozess

¹ acatech 2012a, S. 37.

² acatech 2012a, S. 37.

³ acatech 2012a, S. 38.

muss zwar durch Expertise informiert sein, darf aber nicht hierauf beschränkt bleiben.“⁴ Dies lässt sich als methodisches Programm zu dem hier dokumentierten Projekt betrachten.

Künstliche Fotosynthese ist das Innovationsfeld, das in diesem Projekt beispielhaft betrachtet wird.⁵ Angesichts der unbegrenzten Ressource Sonnenlicht und vor dem aktuellen Hintergrund der Energiewende ist dies eine vielversprechende regenerative Energiequelle, die sich freilich noch in einem früher Entwicklungsstand befindet. Die direkte Umwandlung von Sonnenenergie zieht im Rahmen der Grand Challenges große Aufmerksamkeit auf sich,⁶ längst auch bis in die fiktionale Literatur hinein⁷. Eine öffentliche Diskussion dazu findet jedoch noch nicht statt.

Vorschau

Dieser Bericht stellt zunächst die aktuelle Diskussion und Erfahrungen zur frühzeitigen Einbindung der Öffentlichkeit bei der Technikgestaltung dar. Anschließend werden Technikzukünfte als methodischer Zugang zu partizipativer Technikgestaltung dargestellt und die Künstliche Fotosynthese als Beispieltechnologie eingeführt. Der Projektverlauf von der Erstellung einzelner Technikzukünfte bis zur Durchführung mehrerer Dialogveranstaltungen (mit Teilöffentlichkeiten) zur Bewertung der Technikzukünfte wird ausführlich beschrieben, um methodische Spezifika deutlich zu machen und die bei den Dialogen aufgeworfenen, neuen Aspekte zu dokumentieren. Der Bericht schließt mit einem Fazit und Impulsen für eine Fortführung dieses Ansatzes auch in anderen Innovationsfeldern.

⁴ acatech 2012b, S. 49.

⁵ Der BioÖkonomieRat bewertete es als interdisziplinäres Thema mit hohem Innovationspotenzial und visionärem Charakter; Forschungs- und Technologierat Bioökonomie 2012, S. 16.

⁶ Zum Beispiel National Academy of Engineering 2015.

⁷ Mc Ewan 2010.

2 FRÜHZEITIGE EINBINDUNG DER ÖFFENTLICHKEIT: DISKUSSIONSSTAND, BEISPIELE, ZIELE

Im 17. Jahrhundert haben Forscher die Diskussionen mit der Öffentlichkeit zu Wissenschaftsthemen mit „maunderings of a babbling hag“ verglichen.⁸ Die Zeiten haben sich gewandelt: „Dialog“ ist seit Jahrzehnten ein Schlüsselbegriff der Wissenschaftskommunikation.⁹ Auch international gilt: „For the scientific community, its 'licence to practise' can no longer be assumed – the extension of this licence comes about through processes that include public engagement and dialogue.“¹⁰

Demokratische Gesellschaften legen Wert darauf, dass die Bürgerinnen und Bürger die Politik im Großen und Ganzen verstehen und an wichtigen politischen Auseinandersetzungen teilhaben. Darüber hinaus lassen sich heute – bei Bürgerinitiativen wie „Wutbürgern“, befördert durch die technischen Möglichkeiten des Internets – veränderte Ansprüche an die Kommunikation und Mitbestimmung feststellen, die über den bisherigen gesetzlichen Rahmen der repräsentativen Demokratie hinausreichen.¹¹ Weder „Technik für die Gesellschaft“ (im Sinne einer Verordnung von oben) noch „Gesellschaft blockiert Technik“ kann eine Zukunftsdevise sein. Gesucht sind vielmehr Beispiele für die Idee „Gesellschaft gestaltet Technik“ (so das Motto der acatech Festveranstaltung im Jahr 2014).

Für die sozialwissenschaftliche Technikforschung steht fest, dass Nutzer bei der Entwicklung und Verbreitung von Technologien nicht nur im Rahmen der (passiven) Akzeptanz von Produkten als Nachfrager nach Produkten oder Betroffene der Auswirkungen eine Funktion übernehmen können: So ist eine aktive Aneignung (etwa die Integration in die Alltagspraxis) wichtig für den Erfolg von Innovationen. Nutzer können – zumal bei Technologien, die in ihren Alltag wirken – auch bei der Gestaltung und Verbesserung neuer Technologien

mitwirken. Standen bei der Technikgestaltung bislang die (angewandte) Wissenschaft mit ihrer Orientierung auf technische Neuerungen und die Wirtschaft mit ihrer Orientierung auf den Markt im Mittelpunkt, rücken nun also die Bürgerinnen und Bürger beziehungsweise die Zivilgesellschaft als Mitgestalter ins Blickfeld.

Ein Thema in Politik, Wissenschaft, Wirtschaft und Zivilgesellschaft

Unterschiedliche Akteure heben die Bedeutung einer frühen Einbindung der Öffentlichkeit in Problemformulierung, Lösungssuche und Kommunikation der Lösungspfade hervor, wenn es um die Gestaltung von Wissenschaftspolitik oder Technologien geht, um die Erarbeitung einer gemeinsamen Wissensbasis, um die Auslotung gemeinsamer Interessen und Bewertungen:

Längst hat die Wissenschafts- und Technologiepolitik erkannt, dass Antworten auf zentrale Herausforderungen der Gegenwart so zu gestalten sind, dass sie Bedürfnisse, Bedenken und Erwartungen der Bürgerinnen und Bürger berücksichtigen. Die **neue Hightech-Strategie der Bundesregierung**¹² betont, dass Innovationen „aus dem Wechselspiel von gesellschaftlicher Nachfrage, wissenschaftlichen Entwicklungen und technologischen Möglichkeiten“ entstehen und es dabei „noch konsequenter als bisher gilt [...], die Gesellschaft einzubeziehen“.¹³ Mit dieser Partizipation beabsichtigt die Bundesregierung, gewünschte und akzeptierte Technologien in den Alltag zu integrieren und aus Ideen schneller Innovationen zu machen.¹⁴ Partizipation ist ebenfalls ein zentrales Thema im Rahmenprogramm „Horizon 2020“ der Europäischen Kommission. Den Rahmen bilden die gesellschaftlichen Herausforderungen wie Gesundheit, Ernährungssicherheit und Energieversorgung. „**Responsible research and innovation**“ (RRI) wird dabei

⁸ Zitiert nach Nature 2004, S. 883.

⁹ Zum Beispiel House of Lords 2000, Leshner 2003, Selke 2015, Weitze/Heckl 2016.

¹⁰ Einsiedel 2008, S. 174.

¹¹ acatech 2011, S. 12.

¹² BMBF 2014.

¹³ BMBF 2014, S. 44.

¹⁴ BMBF 2014, S. 44f.

Reallabore

In Baden-Württemberg fördert man problembezogene Themensetzungen und Kooperation innerhalb der Wissenschaft und eine Öffnung gegenüber außerwissenschaftlichen Akteuren.¹⁵ Konkret soll das in **Reallaboren** geschehen. Hier begeben sich Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler in reale Veränderungsprozesse. Sie begleiten zum Beispiel die Sanierung von Stadtteilen oder die Einführung neuer Mobilitäts- und Energiesysteme. In Reallaboren werden Praktiker aus Kommunen, Sozial- und Umweltverbänden oder Unternehmen von Anfang an in den Forschungsprozess einbezogen. „Forschungsfragen eines Umweltverbandes, einer Energiegenossenschaft oder eines Fahrradclubs können dabei ebenso einfließen, wie die eines Technologiekonzerns. In diesem ergebnisoffenen Prozess entsteht Wissen, das in der Praxis etwas bewirkt.“¹⁶

wie folgt verstanden: „[It] anticipates and assesses potential implications and societal expectations with regard to research and innovation, with the aim to foster the design of inclusive and sustainable research and innovation.“¹⁷

Der **Wissenschaftsrat** erkennt die Beteiligung von Akteuren außerhalb der Wissenschaft als Chance: „Die Berücksichtigung spezifischer Wissensbestände, Interessen und Wertvorstellungen verschiedener gesellschaftlicher Akteursgruppen erhöht die Perspektivenvielfalt und verbreitert die Wissensbasis hinsichtlich der Entwicklung von Forschungsagenden und Förderprogrammen.“¹⁸ Der Beitrag der Wissenschaft besteht einerseits in erkenntnis- und lösungsorientierter Forschung und andererseits

darin, „Grenzen wissenschaftlichen Wissens und die Unsicherheit bei dessen Anwendung“ anzusprechen¹⁹ und „die Bedingungen und Möglichkeiten unterschiedlicher Beteiligungsformen zu untersuchen und dafür Experimentierräume zu schaffen“.²⁰

„Shaping Future“

Zum Fallbeispiel Mensch-Maschine-Interaktion hat die Fraunhofer-Gesellschaft mehrere Workshops nach folgendem Schema durchgeführt, um die Bedarfsperspektive für die Gestaltung neuer Technologien sichtbar und nutzbar zu machen:

- Wünsche an eine noch unbekannte Zukunft artikulieren, Möglichkeits- und Experimentierräume bilden
- Konkretisierung mit „narrativen Objekten“, die Zukunftsszenarien in Gegenständliches übertragen
- Zusammenführung der Zukunftsvorstellungen mit Technikexpertise. „Die Zukunftsvorstellungen der Laien werden so für die Formulierung zukünftiger Forschungsagenden nutzbar gemacht.“²¹

„Dass die Ergebnisse eines solchen Prozesses, die formulierten ‚Ansprüche und Bedarfe‘, interessante Impulse für die Forschung liefern können, wurde in dem beschriebenen Projekt gezeigt. Damit entsteht eine höhere Legitimität der Forschung(-sförderung) und der Verwendung von Steuergeldern. Letztendlich sind damit Akzeptanz und die Wahrscheinlichkeit der Anwendung neuer Technologien und Produkte positiv beeinflussbar.“²²

¹⁵ Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kunst Baden-Württemberg 2013, S. 12.

¹⁶ Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kunst Baden-Württemberg 2015.

¹⁷ European Commission 2015.

¹⁸ Wissenschaftsrat 2015, S. 26.

¹⁹ Wissenschaftsrat 2015, S. 22.

²⁰ Wissenschaftsrat 2015, S. 27.

²¹ Kaiser et al. 2014 S. 33.

²² Kaiser et al. 2014 S. 34.

Der Bundesverband der deutschen Industrie (BDI) beschreibt in seinem Papier „Zukunft durch Industrie“ kontrastierende Bilder der Gesellschaft, unter anderem das Gegenbild zu einer technikkoffenen Gesellschaft: „Wenn die Beteiligten in Politik und in Unternehmen die Bürger künftig kaum oder gar nicht mehr an wichtigen Zukunftsfragen beteiligen, wird das Interesse der Gesellschaft an neuen Technologien und innovativen Produkten in den nächsten Jahrzehnten deutlich zurückgehen.“²³ Deshalb wird es „immer wichtiger, die Menschen in Veränderungsprozesse einzubeziehen, um die notwendige gesellschaftliche Unterstützung für neue Technologien und künftige Entwicklungen der Industrie zu erhalten“.²⁴

NGOs wie der Bund für Umwelt und Naturschutz (BUND) fordern, nach Jahren einer staats- beziehungsweise industriegetriebenen Wissenschaftspolitik einen Weg hin zu einer gesellschaftlich ausgewogenen Wissenschaftspolitik einzuschlagen, so im vom BUND herausgegebenen „Plädoyer für eine Wissenschaft für und mit der Gesellschaft“: „Mit welchen Fragestellungen sich Wissenschaft beschäftigt, darf [...] nicht alleine durch einzelne gesellschaftliche Gruppen und durch ökonomische Interessen bestimmt sein. Forschungsfelder und -themen müssen möglichst pluralistisch mit der Wissenschaft festgelegt werden. Es muss

VDI Richtlinienreihe

Der VDI hat eine Richtlinienreihe „Kommunikation und Öffentlichkeitsbeteiligung bei Planung und Bau von Infrastrukturprojekten“ herausgegeben, die Hinweise zur Kommunikation und Bürgerbeteiligung bei der Durchführung von Infrastrukturprojekten gibt, um gemeinsam gesellschaftlich tragfähige Lösungen zu finden.²⁵

insbesondere transparent sein, wer auf die Definition von Forschungsthemen Einfluss nimmt“²⁶ und: „Gesellschaftliche Gruppen sind [...] schon viel früher in die Prozesse zur Definition von Forschungsprogrammen einzubeziehen“²⁷.

„Citizen Science“ schließlich ist der Name einer aktuellen Bewegung, in der Laien eine zentrale Rolle spielen: „Laien“ haben definitionsgemäß keine formale Ausbildung in dem betreffenden Wissenschaftsgebiet und beschäftigen sich üblicherweise nicht institutionell und in einem Professionskontext mit den wissenschaftsbezogenen Themen. Aber sie beschäftigen sich in irgendeiner Weise mit derartigen Themen und/oder sind davon betroffen, zum Beispiel als Konsumenten oder als Patienten. Deshalb haben sie auch Wissen zu diesen Themen. Wenn Beobachten, Beschreiben und Erklären, Anwendungs- und Nutzenabsichten Basisfunktionen jeder Art von Wissenschaft sind, kann sich Citizen Science durch folgende Merkmale auszeichnen²⁸:

- Ergänzungs- und Kompensationsfunktion: Citizen Science ist oft im Lokalen stark, zum Beispiel im Rahmen der Regionalforschung in der Geschichtswissenschaft
- Übersetzungsfunktion: Übertragung von Wissensinhalten in die Allgemeinsprache und Einbettung in die Erfahrungswelt des Alltags
- Orientierungs- und Zusammenhangsfunktion: Verbindungen und Querbezüge herstellen, auch indem „disziplinäre Schubladen“ gar nicht erst aufgebaut werden
- Kontrollfunktion, etwa im Bereich des Umweltschutzes

Auch international gibt es zahlreiche Ansätze, von denen exemplarisch das Future Search Network²⁹ und – noch stärker bezogen auf Neue Technologien – Future Tense³⁰ genannt seien.

²³ BDI 2015, S. 44.

²⁴ BDI 2015, S. 42.

²⁵ VDI 2014.

²⁶ BUND 2012, S. 5.

²⁷ BUND 2012, S. 11.

²⁸ Finke 2014, S. 89–93.

²⁹ Janoff/Weibord 2015.

³⁰ ASU 2015.

Kein ganz neues Thema, aber immer wieder aktuell

Diese Ideen sind alle nicht ganz neu, sondern haben Ursprünge, die mindestens Jahrzehnte zurückreichen. Genannt seien hier die „Zukunftswerkstätten“, deren Ausgangspunkt folgender ist: „Gerade in der entscheidenden Anfangsphase jedes Veränderungsvorgangs, in der Wünsche formuliert und Vorschläge zu ihrer Befriedigung entwickelt werden, hat fast ausnahmslos nur ein kleiner Kreis von Fachleuten und Auftraggebern das Sagen. Was sie sich ausdenken und der Öffentlichkeit in einem von ihnen gewählten Augenblick bekanntgeben, ist meist von langer Hand [...] vorbereitet worden und reicht über die Gegenwart hinaus weit in die Zukunft hinein.“ Zur Mitsprache ist es dann oft zu spät, denn „das, was gestern nur eine Möglichkeit war, [kann] nunmehr als zwingende Notwendigkeit hingestellt werden“³¹. Ihren Grundgedanken und ihre Grundfragen formulieren Jungk und Müllert wie folgt: „Die Zukunft gehört allen. Doch wo sind die Gelegenheiten, bei denen alle, die es wollen, ihre Wünsche, Hoffnungen, Ideen, Vorschläge so deutlich und unüberhörbar kundtun können, daß sie sich nicht mehr überrumpelt und entfremdet fühlen müssen, sondern als einflußreiche Mitgestalter einer Welt, in der sie und ihre Kinder leben werden?“³²

Bis heute ist es nicht gelungen, die übergeordneten gesellschaftlichen Herausforderungen mit denjenigen innerhalb des Wissenschaftssystems zusammenzubringen. Noch immer scheint das Bonmot zu gelten: „Die Gesellschaft hat Probleme, die Wissenschaft hat Disziplinen.“ So müssen wir Einseitigkeiten und blinde Flecken reflektieren und nach Möglichkeit kompensieren. Gerade in Zeiten, in denen sich die Wissensproduktion und die darauf basierende Entwicklung neuer Technologien ständig beschleunigen, ist das Wissen, das Forschung und Entwicklung in Wissenschaft

und Wirtschaft bereitstellen, um gesellschaftliche Wahrnehmung und Werte zu ergänzen. Auf derart verbreiteter Basis kann „sozial robustes Wissen“ entstehen: Dieses ist durch gesellschaftliches Wissen infiltriert und verbessert und basiert auf einem umfassenderen Spektrum von Perspektiven und Techniken.³³

2.1 BESSERE TECHNIK DURCH FRÜHZEITIGE EINBINDUNG DER ÖFFENTLICHKEIT? VISION UND HERAUSFORDERUNGEN

Die vorangegangene Übersicht zur aktuellen Diskussion hat eine Vielfalt an Argumenten für eine frühzeitige Einbindung der Öffentlichkeit aufgezeigt. Dabei lässt sich wiederum differenzieren, in welchem Bereich der Technikentwicklung Bürgerinnen und Bürger hinzugezogen werden können: bei der Identifikation von Herausforderungen und bei Problemdefinitionen, in Forschung und Entwicklung sowie bei der Produktion, Nutzung beziehungsweise Entsorgung.

Bereits vor über zwanzig Jahren hat der Soziologe Fritz Gloede verschiedene Ziele von „Partizipation“ differenziert und kritisch beleuchtet.³⁴ Jahrzehntelange Erfahrungen mit Teilnehmungsformaten haben deren Chancen immer wieder deutlich gemacht, aber auch viele Facetten des Begriffs „Partizipation“³⁵ und die Herausforderungen einer wirklich offenen und wirkungsvollen Kommunikation zutage treten lassen.³⁶

Schon bei der Formulierung der gesellschaftlichen **Herausforderungen** können die Wünsche, Erwartungen, Hoffnungen und Befürchtungen der Bürgerinnen und Bürger ausreichend Berücksichtigung finden. Partizipation kann dann bei der **Problemdefinition** relevant sein, im Sinne von

³¹ Jungk/Müllert 1989, S. 12.

³² Jungk/Müllert 1989, S. 13.

³³ Nowotny et al. 2001, S. 166ff.

³⁴ Gloede 1994.

³⁵ Rowe/Frewer 2005.

³⁶ Tait 2009, Scheufele 2011.

Fragen wie „Wie wollen wir in Zukunft leben?“, „Wo liegen die Herausforderungen, zu denen Forschung und Technik etwas beitragen können?“ oder „Welche Technik soll uns in Zukunft unterstützen?“.

Spezifische Wissensbestände, die sich jenseits von Wissenschaft und Wirtschaft finden, können zu Lösungen (**Forschung, Entwicklung**) beitragen oder eine Integration von Technik in die Alltagspraxis (**Produktion, Nutzung, Entsorgung**) erleichtern. Neben der Expertise aus Wissenschaft und Wirtschaft sind hier auch die Expertise von Betroffenen und Nutzern sowie weitere Wissensformen einzubeziehen (etwa „lokales“ Wissen), zumal bei komplexem und unsicherem Wissen. Angesichts immer weiter voranschreitender gesellschaftlicher Differenzierung und der Auflösung gemeinsamer Erfahrungswelten tut es not, die verschiedenen Wissensformen aus Wissenschaft, Wirtschaft und Gesellschaft zusammenzubringen, insbesondere da sich die Wissensproduktion und dementsprechend auch die Entwicklung neuer Technologien ständig beschleunigen.

Angesichts des Einflusses neuer Technologien in der Gesellschaft sind – im Sinne einer Erweiterung der Perspektive – neben dem Fachwissen der Experten auch Wertvorstellungen, Zukunftsvisionen und Wünsche der Bürgerinnen und Bürger wichtig. Diese sind – ebenso wie Interessen der einzelnen Anspruchsgruppen – im Rahmen der Gestaltungsdiskurse sichtbar zu machen und in die Bewertung einzubringen. Dabei sollten Expertenwissen und Laienwahrnehmung als einander ergänzend, nicht als gegensätzlich eingestuft werden: Technik kann nicht alleine auf der Grundlage von Fachwissen gestaltet werden, aber ein angemessenes Fachwissen ist die notwendige Voraussetzung, um zu einem wohlüberlegten Urteil der Gestaltung kommen zu können. Verantwortliches Handeln muss sich daran messen, wie sachlich adäquat und moralisch gerechtfertigt Entscheidungen angesichts von Unsicherheiten getroffen werden.

So kann die frühzeitige Einbindung der Öffentlichkeit auch zeigen, dass wenig oder keine Akzeptanz für bestimmte „Technikzukünfte“ vorhanden ist. Es wäre von Vorteil, wenn Forschung und Entwicklung das so früh wie möglich wüssten und die „kritischen Punkte“ und mögliche Bedingungen der Akzeptanz erfahren, beispielsweise Sicherheitsmaßnahmen, Vertrauen, Regulierung, Selbstverpflichtungen etc. Die Gesellschaft wird dann nicht nur auf einen Wandel vorbereitet, sondern gestaltet diesen mit. Forscher und Entwickler wissen dann, wovon die Akzeptanz maßgeblich abhängt und wo die kritischen Punkte liegen: Akteure in Politik, Wissenschaft und Wirtschaft könnten dazu beitragen, diese **Bedingungen der Akzeptanz** zu erfüllen. Und eine offene und frühe Kommunikation kann Vertrauen schaffen und dadurch indirekt auch zur Akzeptanz beitragen.

Indirekte Wirkungen der Einbindung sind ebenso möglich, indem etwa durch Einbeziehung einer Vielzahl an Perspektiven „neue“ Fragen aufgeworfen und Erwartungen formuliert werden. So kann „bessere Technik“ entstehen, und so könnten gleichzeitig Innovationsprozesse beschleunigt werden.

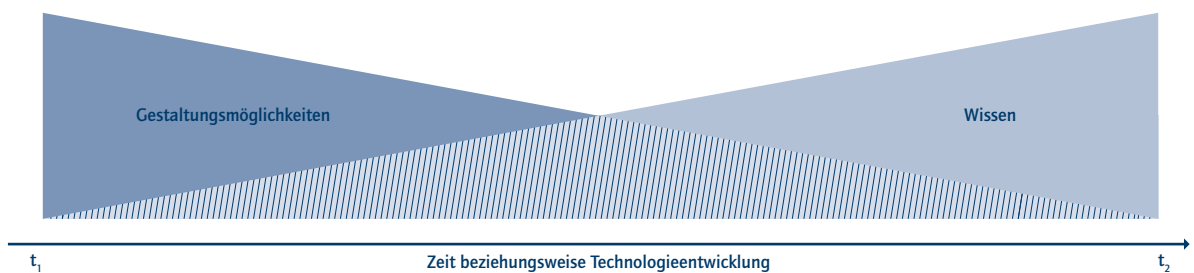
2.2 HERAUSFORDERUNGEN EINER FRÜHZEITIGEN EINBINDUNG

Aus bisherigen Dialogformaten mit dem Ziel der Partizipation³⁷ sind verschiedene kritische Punkte bekannt, die bei den jeweiligen Aktivitäten zu beachten sind:

- Wann sollen die Folgen einer einzusetzenden Technik diskutiert werden? Hier ergibt sich ein **Dilemma**, das nach dem britischen Technikforscher David **Collingridge** benannt ist: Während sich Technologie über die Zeit entwickelt, wächst auch das Wissen über ihre Wirkungen (Chancen, Risiken) (vgl. Abbildung 1). Ist die Technologie jedoch weit entwickelt, sind etwa die Produktionsbedingungen, Nutzungskontexte und

³⁷ Vgl. WiD 2011.

Abbildung 1: Das Collingridge-Dilemma beschreibt, wie während der Entwicklung einer Technologie das Wissen über ihre Wirkungen wächst, die Möglichkeiten ihrer Gestaltung jedoch gleichermaßen geringer werden.



Quelle: nach Collingridge, D., 1982: The Social Control of Technology. London, S. 19.

Entsorgungsverfahren bekannt, besteht nur noch wenig Möglichkeit, diese gestaltend zu beeinflussen, denn dann ist die Entwicklung bereits abgeschlossen oder wenigstens so weit fortgeschritten, dass aus ökonomischen Gründen ein Umsteuern kaum noch oder nicht mehr möglich ist – die Technologie ist „verhärtert“ durch die Pfadabhängigkeit der getroffenen Entscheidungen. Sehr früh mit der Gestaltung anzusetzen ist jedoch praktisch unmöglich, weil man ja über mögliche Produkte, Anwendungen und Folgen noch nichts Genaues weiß, also nicht weiß, in welche Richtung man eingreifen soll, um zu besserer Technik zu kommen.³⁸

- Wie interessiert man bei dem Thema wie „Künstliche Fotosynthese“ die Menschen, die sich (noch) nicht betroffen fühlen und zunächst wenig Interesse daran haben (siehe Collingridge-Dilemma)? **Wie „mobilisiert“ man Laien für solch eine Diskussion? Welche Teilöffentlichkeiten lassen sich überhaupt erreichen?** Jeder Ansatz, mit dem man Interesse weckt, beeinflusst freilich auch die Wahrnehmung des Themas.³⁹
- Was kommt heraus? Welche Wirkungen werden erzielt? Bei Dialogveranstaltungen zur Synthetischen Biologie und zu anderen Neuen Technologien zeigt sich

mitunter, dass es zwar Lerneffekte aufseiten der Bürgerinnen und Bürger gab, jedoch nicht mehr – also insbesondere keine Wirkung in Richtung der Wissenschaft. Robert Jungk hatte bereits vor einem halben Jahrhundert das Problem erkannt: „Meine ersten Versuche Mitte der sechziger Jahre, junge Arbeiter und Angestellte in Wien zu Äußerungen über ihre Wünsche für die Welt von morgen zu veranlassen, scheiterten ziemlich kläglich. Entweder schwiegen sie, oder sie plapperten einfach nach, was ihnen Propaganda und Konsumwerbung eingetrichtert hatten. [...] Das eigene Denken, das eigene Phantasieren, die eigenen Wünsche hatte man ihnen gründlich ausgetrieben.“⁴⁰ Bei „Dialogen“ zur Nanotechnologie wurde mitunter eine **Reproduktion des Expertendiskurses** beobachtet, es wurden also keine neuen Aspekte sichtbar. **Konsens** zu kontroversen Punkten wurde allenfalls **künstlich hergestellt**.⁴¹

- Bürgerinnen und Bürger müssen die **Wirkung der Kommunikation sehen** können, damit sie sich aktiv einbringen. Dies betrifft etwa die Frage, wie der Input seitens „der Öffentlichkeit“ integriert werden soll. Da die Wirksamkeit der Beteiligungsformate oftmals noch unklar ist, muss man der Gefahr begegnen, Bürger mit

³⁸ Grunwald 2010, S. 165.

³⁹ Anderson et al. 2013.

⁴⁰ Jungk/Müllert 1989, S. 24.

⁴¹ Zum Beispiel Bogner 2010.

unausgereiften oder unpassenden Formaten zu verärgern. Für die Teilnehmerinnen und Teilnehmer muss feststehen, was mit den Ergebnissen geschehen soll (Mandat und Transparenz).⁴²

- Die teilnehmenden Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler müssen auf ihre Rolle vorbereitet werden, in der offene Fragen, Pluralität und Unsicherheiten in der Wissenschaft thematisiert werden. Die Bereitschaft zu einem echten Dialog im Sinne einer **Zweiweg-Kommunikation** ist eine weitere Voraussetzung.
- Generell ist der **Aufwand** recht hoch. Es werden – bezogen auf den hohen Aufwand – nur „Wenige“ erreicht. Allerdings ist hier die Qualität der Interaktion zu berücksichtigen: Bei Umfragen der Meinungsforscher werden mehrstellige Personenanzahlen erreicht, über Massenmedien noch viel mehr – jedoch ist die Art der Interaktion sehr beschränkt.

Abgesehen von den genannten Punkten stellt sich die Frage einer **demokratiethoretischen Einordnung**: So wenig die Wahrnehmungen der Bevölkerung das gesicherte Fachwissen ersetzen können, so wenig dürfen Experten oder Laien politische Urteile treffen, die nur den demokratisch legitimierte Gremien oder den Betroffenen selbst zustehen.⁴³ Das gilt umso mehr, als in den bisherigen partizipativen Arrangements nur kleine Gruppen interessierter und informierter Personen als Teilnehmer erreicht wurden.⁴⁴ Mit dem neuen „Arrangement der Politikberatung unter Einbezug von Entscheidungsträgern, wissenschaftlichen Experten und Laien“⁴⁵ kann es also nicht darum gehen, „neue Strukturen als Alternative oder in Konkurrenz zum demokratisch legitimierte parlamentarischen System zu etablieren, sondern darum, Stakeholder stärker und früher in Entscheidungsprozesse einzubinden und so die Wissens- und Wertebasis für Entscheidungen zu verbreitern und zu vertiefen“⁴⁶.

⁴² Zur Gestaltung und „wirksamen“ Auswertung von partizipativen Formaten gibt es zahlreiche Erfahrungen, zum Beispiel aus Projekten wie „Wissenschaft debattieren“ (<http://www.wissenschaft-debattieren.de/>) oder dem EU-Projekt „Civil Society Organisations in Designing Research Governance“, <http://www.consider-project.eu/>.

⁴³ Vgl. acatech 2011, S. 22.

⁴⁴ Vgl. Scheufele 2011 und Tait 2009, S. 21.

⁴⁵ Vgl. Hennen et al. 2004, S. 59.

⁴⁶ Opielka et al. 2014, S. 10.

3 VORAUSDENKEN, ERSTELLEN UND BEWERTEN VON TECHNIKZUKÜNFTEN

Wie kann man ein Thema in einem frühen Forschungsstadium relevant und interessant machen für Bürgerinnen und Bürger, die sich einerseits in den Dialog einbringen sollen, andererseits aber nur über beschränkte zeitliche Kapazität verfügen? Dazu könnten zunächst anhand verschiedener Forschungsansätze „Technikzukünfte“ entwickelt werden. Technikzukünfte sind dabei keine Prognosen, sondern sollen – auf Grundlage transparenter Voraussetzungen und Annahmen – eine Basis für die Diskussion darstellen, in welche Richtung die (Forschungs-)Reise gehen kann und was das Ziel der Forschung sein könnte.

Was sind Technikzukünfte?

Technikzukünfte sind Vorstellungen zukünftiger gesellschaftlicher Wirklichkeiten in Kombination mit dem wissenschaftlich-technischen Fortschritt. Wenn es in der Zukunft auch nur eine Gegenwart geben wird, verweist der Plural auf die zahlreichen sowie unterschiedlichen Bilder und Vorstellungen über Zukunft. Technikzukünfte sind offen, zumal sie wiederum von den nicht vorhersehbaren Entscheidungen der Menschen abhängen. So werden mit dem Begriff Zukünfte ganz allgemein Beschreibungen zukünftiger Sachverhalte oder Entwicklungen bezeichnet.

Technikzukünfte haben Technik ebenso im Blick wie den gesellschaftlichen Kontext. Sie sind also nicht so zu verstehen, dass „Technik alle Probleme lösen“ könne, sondern sind immer gleichzeitig „Gesellschaftszukünfte“, kurzum: Technik in der Gesellschaft.

Wieso erstellt und bewertet man Technikzukünfte?

Sich mit den Folgen erst dann zu befassen, wenn sie auftreten, ist ethisch problematisch, politisch unverantwortbar und ökonomisch abträglich. So lassen sich verschiedene Zwecke von Technikzukünften identifizieren. „Ein Blick auf die zukünftige Entwicklung einer Techniklinie erlaubt es [...], neue Möglichkeiten von Produkten, technischen Funktionen und Organisationsformen zu imaginieren (Früherkennung von Chancen), aber auch mögliche Risiken

und Nebenfolgen vorzustellen (Frühwarnung). Sie bieten auch eine, wenngleich vorsichtig zu handhabende Entscheidungshilfe bei Problemen der Planung, Förderung, Steuerung und Kontrolle von Entwicklungsprozessen. Sie helfen zu bewerten, welche Entwicklung gewünscht oder unerwünscht ist und tragen damit zur Explikation der Präferenzen sowie zum Öffnen und Schließen von Möglichkeitsräumen bei.“ Sie können „benutzt werden, um ein Versprechen über eine künftige Entwicklung zu untermauern, zu einer Entscheidung zu ermuntern, für bestimmte Chancen oder auch Risiken zu sensibilisieren oder auch vor absehbaren, aber unerwünschten Folgen bestimmter Entwicklungen frühzeitig zu warnen.“⁴⁷ Kurz: Sie sind Medium des technischen Fortschritts, sie motivieren Forscher und sind zentraler Bestandteil von Entscheidungen über Technik. Insbesondere sind sie Grundlage und Medium der gesellschaftlichen Debatte um Chancen und Risiken von Technik.

Gebot der Transparenz

Technikzukünfte sind selbst Interventionen und verändern die Welt, wenn sie kommuniziert werden – womit der Kommunikation mit und über Technikzukünfte eine besondere Verantwortung zukommt. Eines muss man bei der Diskussion um Technikzukünfte stets im Blick behalten: Technikzukünfte sind keine Prognosen auf „objektiver“ Basis. Vielmehr hängen sie von gegenwärtig gemachten Voraussetzungen und von normativen Einstellungen ab. Sie mischen Wissen, Nichtwissen und Werte. Technikzukünfte können auch ein geeignetes Einfallstor für Interessen sein. Die Kraft narrativer Technikzukünfte wurde im Fall der Kernenergie (1950er Jahre) und der Nanotechnologie (Ende des 20. Jahrhunderts) besonders deutlich. Solche Geschichten können uns beeinflussen – ob sie realistisch oder spekulativ sind.

Wie auch immer die Technikzukünfte dargestellt werden: Große Versprechen (zum Beispiel die „Lösung unserer Energieprobleme“) sollten vermieden werden, weil sie

⁴⁷ acatech 2012b, S. 22.

Technikzukünfte der Nanotechnologie

Das Fallbeispiel Nanotechnologie zeigt, auf welche unterschiedliche Weise sich Technikzukünfte erzählen lassen: Überwogen bis um das Jahr 2000 Darstellungen der Nanotechnologie als „klein, sauber und smart“ (Eric Drexler u. a.), ließen sich diese Visionen wissenschaftlich nicht auf Dauer durchhalten: „Visionen als Mittel der Kommunikation von Technikzukünften sind hochgradig ambivalent. In futuristischen Visionen wird das ganz Neue in den Vordergrund gestellt, denn nur damit lässt sich Faszination und positive Aufmerksamkeit in der öffentlichen Wahrnehmung realisieren. Das Revolutionäre und das ‚wirklich‘ Neue sind jedoch keineswegs nur faszinierend, sondern erwecken auch Angst, Sorgen und Ablehnung: Der Versuch, durch positive Utopien zu faszinieren und zu motivieren, kann gerade zu Ablehnung und Widerspruch führen.“⁴⁸ So kam eine Risiko- und Bedrohungsdebatte um „Grey goo“, Bill Joy und andere Themen auf, die „nichts weiter als die Negativfolie der davor als positiv kommunizierten Technikzukünfte“⁴⁹ war.

Das Beispiel Nanotechnologie kann auch zeigen, welche Wirkungen eine frühe Befassung mit Technikzukünften haben kann: Die Entwicklung der Nanotechnologie hat durch die ethische Reflexion der mit ihr verknüpften Visionen wohl keinen anderen Verlauf genommen (jedenfalls lässt sich das nicht nachweisen): Die „Aggregationsniveaus zwischen konkreter Laborforschung an nanoskaligen Prozessen [...] und der Betrachtung ethischer Fragen“ liegen wohl zu weit auseinander, um seitens der Nano-Ethik direkten Einfluss auf die Agenda von Forschung und Entwicklung nehmen zu können.⁵⁰ Allerdings können (durchaus positive) Wirkungen auf die gesellschaftliche Debatte festgestellt werden: So ist die Diskussion zur Nanotechnologie – anders als etwa die der Atom- und Gentechnik – von Offenheit geprägt: „... weil auf allen Seiten offen über Nichtwissen und mögliche Risiken diskutiert wurde und wird, ist die Debatte konstruktiv verlaufen. Statt sich auf die absolute Vermeidung von Risiken zu kaprizieren (Nullrisiko), ist es gelungen, Vertrauen für einen verantwortlichen Umgang mit möglichen Risiken zu schaffen.“⁵¹

nicht einlösbar sind. Die „hinter der Formulierung von Technikzukünften stehenden Werte, Zwecke und Interessen sollten offen gelegt werden, insofern es um öffentliche Belange und demokratische Debatten geht. Der Entstehungsprozess sollte transparent gemacht werden“.⁵² Das Gewährleisten von Transparenz kann auch dem Generalverdacht der Beliebigkeit, der Ideologie und Interessengetriebenheit von Technikzukünften entgegenwirken,⁵³ ist mithin eine Voraussetzung für eine Diskussion um Technikzukünfte, in der unterschiedliche Perspektiven mit je eigenen blinden Flecken zusammengebracht werden.

Vielfalt an Methoden

Technikzukünfte werden in unterschiedlichen Formen, etwa als Vorhersagen, Szenarien oder Visionen, zum Ausdruck gebracht. „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.“⁵⁴ „Sie können diffus und implizit auftreten oder auch als konkrete und explizite Aussagen formuliert werden – wobei es gerade die impliziten Zukünfte zu sein

⁴⁸ acatech 2012b, S. 45.

⁴⁹ acatech 2012b, S. 45.

⁵⁰ Grunwald 2015.

⁵¹ Grunwald 2015.

⁵² acatech 2012b, S. 50.

⁵³ acatech 2012b, S. 24.

⁵⁴ acatech 2012b, S. 6.

scheinen, die eine besondere Wirkmächtigkeit besitzen. [...] Aber auch Wünsche, Hoffnungen, Erwartungen und Befürchtungen, normative Setzungen und Interessen, Werte oder schlichte Annahmen können Teile von Zukünften sein.“⁵⁵

Geschichten eröffnen neue Zugänge zu Technik und ihren Zukünften

Personalisierung, Emotionalisierung, Dynamisierung, Konflikte, Liebe, Gewalt oder Heldenreisen – diese Zutaten zu Geschichten machen die Odyssee, Grimms Märchen, Hollywoodfilme und Technikzukünfte erst lebendig.⁵⁶ Die Methode geht auf die abendlichen Lagerfeuer am Beginn unserer Kultur zurück: Jäger erzählten sich ihre Tageserlebnisse. Die bildhaften Geschichten dienten auch als sozialer Kitt. Wissenschaft als Geschichte erzählen ist – in den Worten des Wissenschaftsjournalisten Wolfgang Goede – das Steinzeitfeuer der Moderne. Bilder sind selbst in der modernen Zivilisation besser verständlich als Abstraktes. So können Technikzukünfte in Form von Geschichten wirksam werden, wie es Frank Schirmmacher ausgedrückt hat: „Erfindungen verändern die Welt. Aber das heißt auch: Geschichten verändern die Welt. Denn sie verändern die Erfinder.“⁵⁷

Technikzukünfte können mit quantitativen Methoden (etwa statistischen Methoden, Simulation) und qualitativen Methoden (zum Beispiel Delphi-Befragung) erstellt werden. Darüber hinaus werden – so auch in diesem Projekt – „intuitive Verfahren“ eingesetzt: „Mit ihnen können qualitative Szenarien erstellt werden, sei es durch Theaterimprovisation, Erzählungen, Fantasie, durch Kreativitätstechniken wie Synektik, Brainstorming [...] und ähnliches sowie technologische Visionen in Literatur, Prospekten und Medien. Man kann dieses Vorgehen auch partizipativ arrangieren; sie sind für Überraschungen offen, explorativ und können auch langfristige Entwicklungen zum Gegenstand haben.“⁵⁸

Comics als Formen der Technikzukünfte

Comics sind ein jugendaffiner Zugang zu solchen Themen, die einen intuitiven Einstieg und spielerische Auseinandersetzung damit erlauben.⁵⁹ Informationen werden ohne die Verwendung komplexer Begrifflichkeiten und fachspezifischen Vokabulars dargestellt: visuell, im Zeitverlauf von Geschichten, in Beschreibungen von Charakteren. Diese Darstellung bietet nicht nur anderen Zielgruppen einen Zugang an, sondern ermöglicht gleichzeitig, Bewertungen und Ansichten zu einem Thema darzustellen. Im Rahmen der Anthropozän-Sonderausstellung des Deutschen Museum wurden dreißig Exponate beziehungsweise Themen der Dauerausstellung des Museums im Rahmen eines Comic-Projekts interpretiert.⁶⁰

Chancen und Herausforderungen der Entwicklung von Technikzukünften zur Künstlichen Fotosynthese

Künstliche Fotosynthese ist derzeit noch kein „aktuelles“ Thema im Sinne von Medienpräsenz. Um darüber sprechen zu können, muss zunächst Interesse geweckt werden, um dann aus der Gesellschaft heraus Ideen und kritische Fragen aufnehmen zu können. Im Unterschied etwa zur Gentechnik oder Nukleartechnik handelt es sich bei der Künstlichen Fotosynthese um ein durch Kontroversen beziehungsweise verfestigte Meinungsbilder noch kaum „vorbelastetes“ Feld. Im Unterschied zur Kernfusion, die in einer vergleichbaren Zeitperspektive verfolgt wird, handelt es sich voraussichtlich nicht um eine Großtechnologie, sondern möglicherweise um dezentrale, an der Biologie orientierte Formen der Energieerzeugung. So scheint das kontroverse Potenzial dieser Technologie auf den ersten Blick eher gering. Jedoch können hier durch den möglichen Einsatz von Gentechnik oder Schwermetall-Katalysatoren auch durchaus kontroverse umweltrelevante und ethische Fragen erwachsen. Die wissenschaftlichen

⁵⁵ acatech 2012b, S. 11 ff.

⁵⁶ Goede 2005.

⁵⁷ Schirmmacher 2010.

⁵⁸ acatech 2012b, S. 23 f.

⁵⁹ Zum Beispiel Lin et al. 2015.

⁶⁰ Deutsches Museum 2015.

Ausgangspunkte und technischen Realisierungsmöglichkeiten sind bislang allenfalls in Ansätzen erkennbar. Dabei kann es zum jetzigen Zeitpunkt noch gar nicht darum gehen, Forschungsagenden zu entwerfen oder konkrete Technologien zu entwickeln, sondern zunächst Technikzukunft zu erstellen, die ihrerseits die Diskussion und den Prozess der Lösungsfindung in Wissenschaft und Gesellschaft anregen können.

Kunst und Wissenschaft

Im Rahmen des niederländischen Forschungsprogramms „BioSolarCells“ wurden Künstler eingeladen, das künstlerische Potenzial der Forschung an Künstlicher Photosynthese auszuloten.⁶¹ Auf diese Weise lässt sich die Perspektive erweitern. Künstler und Laien interpretieren Bilder der Wissenschaft in neuer Art.

⁶¹ Biosolart 2015, BiosolarCells 2015.

4 KÜNSTLICHE FOTOSYNTHESE: HERAUSFORDERUNG, VISION UND FORSCHUNGSAKTIVITÄTEN

Diese Darstellung fasst Ausgangspunkte und Rahmenbedingungen zu Technikzukünften um die Künstliche Fotosynthese auf der Basis von Expertengesprächen, einem Workshop mit der Max-Planck-Gesellschaft, Literaturrecherche und Diskussionen in der Projektgruppe zusammen.

Die Funktion des Textes, der dieses Kapitel bildet, war zunächst, innerhalb der Projektgruppe ein gemeinsames Verständnis dieses Themas zu entwickeln. Er diente dann – gemeinsam mit konkreten Darstellungen von Technikzukünften – als Grundlage für Dialogveranstaltungen mit Teilöffentlichkeiten. An dieser Stelle führt der Text in diese Technologie ein.

4.1 HERAUSFORDERUNG UND VISION

Globale Herausforderung Energiebedarf

Die Energieversorgung unserer Welt basiert überwiegend auf der Nutzung nicht erneuerbarer, energiereicher Stoffe wie **Erdöl, Kohle und Erdgas**, die über Jahrmillionen durch Fotosynthese betreibende Organismen erzeugt worden sind und „gespeicherte Sonnenenergie“ darstellen. Der stark steigende Energieverbrauch im Industriezeitalter hat zu einer **unvermeidlichen Verknappung** dieser Ressourcen geführt, zumal Erdöl, Kohle und Erdgas – im Vergleich zur Energieerzeugung freilich in wesentlich geringerem Maße – auch als Rohstoffe für die chemische Industrie gebraucht werden. Ferner führt die Verbrennung kohlenstoffreicher fossiler Stoffe zu einem **Anstieg der CO₂-Konzentration** in der Erdatmosphäre mit Auswirkungen auf unser Klima und vielfältigen, nachteiligen Effekten für das Leben auf unserem Planeten und die menschliche Gesellschaft.

Steigende Bevölkerungszahlen und steigender ökonomischer Wohlstand – momentan insbesondere in Schwellenländern wie Indien und China – werden auch zukünftig **den globalen Energieverbrauch weiter steigen lassen**. Es ist daher eine der großen Herausforderungen unserer

Zeit, alternative, „**erneuerbare**“ **Energie- und Rohstoffquellen** zu erschließen.

Erneuerbare Energiequellen wie Fotovoltaik, Windräder und Wasserkraft leisten bereits jetzt einen steigenden Beitrag zur Erzeugung von elektrischer Energie weltweit.⁶² Elektrische Energie hat jedoch den Nachteil, dass sie im Moment der Erzeugung genutzt werden muss. Die **Speicherung**⁶³ macht – zum Beispiel in Batterien oder Pumpspeicherwerken – neue Anlagen notwendig und ist daher kostenintensiv; die mit der Speicherung verbundenen Umwandlungsprozesse sind teilweise verlustreich. So werden speicherbare Energieformen gesucht, weil einerseits Sonnenenergie von Standort, Tageszeit, Jahreszeit und Bewölkungsgrad abhängt und andererseits der Energiebedarf einen anderen zeitlichen Verlauf hat (im Wesentlichen abhängig von Tages- und Jahreszeit).

Elektrische Energie macht ferner nur einen kleinen Teil unseres Energieverbrauchs aus, der weitaus größere Teil entfällt auf **Wärme und Mobilität** – und lagerbare Treibstoffe sind besonders schwierig in erneuerbarer Weise zu erzeugen. Bisher existiert kein zufriedenstellendes, ökonomisches Verfahren, welches in der Lage wäre, unseren enormen Bedarf an fossilen flüssigen Kraftstoffen zum Beispiel im Transportsektor (Straßen-, Schiffs-, Flugverkehr) zu decken.

Die Vision: Energie von der Sonne – direkt, unerschöpflich und speicherbar

Speicherbare Bioenergieträger (wie Biogas oder -ethanol) können die Menschen mit regenerativen Kraftstoffen versorgen. Die Nutzung von Biomasse zur Energiegewinnung bedeutet eine geringere Abhängigkeit von fossilen Energieträgern und reduziert Treibhausgasemissionen. Um nicht in Konkurrenz mit der Nahrungsmittelproduktion zu stehen, lassen sich mit Methoden der biotechnologischen Energieumwandlung Restrohstoffe der Land- und Forstwirtschaft zur Gewinnung von Biogas und -ethanol nutzen.⁶⁴ Das Potenzial von Biomasse bleibt aber begrenzt.⁶⁵

⁶² Anteil in Deutschland 2013 von 25,4 Prozent, BDEW 2015, S. 11.

⁶³ Zum Beispiel DECHEMA 2015.

⁶⁴ acatech 2012c.

⁶⁵ Vgl. zum Beispiel Fachgruppe „Biomasse“ der Ad-hoc-Gruppe „Flexibilitätskonzepte“ des Akademienprojekts „Energiesysteme der Zukunft“.

Sonnenlicht ist die ultimative erneuerbare Ressource: Überall auf der Welt ist es kostenlos verfügbar.⁶⁶ Die Sonne strahlt 15.000-mal mehr Energie auf die Erde, als die gesamte Menschheit verbraucht. Für die Energieumwandlungsprozesse der Natur sind CO₂ aus der Atmosphäre und Wasser (H₂O) die Ausgangsstoffe. Bei der natürlichen Photosynthese wandeln Pflanzen oder Algen diese Ausgangsstoffe mithilfe von Sonnenlicht als Energiequelle in organische Verbindungen um.⁶⁷

Die direkte Umwandlung von Sonnenenergie – so die Vision, die mit dem Begriff „Künstliche Photosynthese“ beschrieben wird – geht nicht den Umweg über Biomasse, die anschließend weiter umgewandelt (oder schlicht verbrannt) wird. Sondern sie nutzt Wasser und CO₂ als Rohstoff, aus denen direkt energiereiche Kohlenwasserstoffe erzeugt werden, die wiederum vielfältige Anwendungen als Energieträger oder Chemierohstoffe haben.

4.2 FORSCHUNGSAKTIVITÄTEN

Forscher auf der ganzen Welt⁶⁸ versuchen derzeit, stabile Systeme zu entwickeln, die aus CO₂, H₂O und Licht **Treibstoffe** (also in Form chemischer Bindungen gespeicherte Energie) herstellen – und zwar möglichst effizienter beziehungsweise

ökonomischer als heutige Pflanzen.⁶⁹ Die so gewonnenen Treibstoffe sollen kostengünstiger sein als unsere heutigen, aus fossilen Energieträgern gewonnenen Treibstoffe – und wären damit marktfähig. Diese Treibstoffe werden aus CO₂ aufgebaut, sodass im Prinzip⁷⁰ auch bei ihrer Nutzung (Verbrennung) keine neuen CO₂-Emissionen entstehen.⁷¹ Wie bei den fossilen Energieträgern Erdöl und Erdgas ist die Energie in den chemischen Bindungen gespeichert, sodass diese Moleküle entweder bei Bedarf direkt **energetisch genutzt** oder mithilfe von chemischen oder biotechnologischen Veredelungsschritten **stofflich verwertet** (das heißt in nutzbare Chemikalien umgewandelt) werden können.

Ein anderer Ansatz besteht darin, **Elektrizität** durch Techniken wie Fotovoltaik und Solarthermie oder Windparks zu erzeugen und diese anschließend in eine chemische Speicherform zu überführen. In Frage kommt hier insbesondere **Wasserstoff**, der durch die **Elektrolyse** von Wasser gewonnen werden kann. In vielen Szenarien künftiger Energiesysteme spielt dieses Verfahren eine wichtige Rolle, um überschüssigen Sonnen- und Windstrom zu nutzen und zu speichern.⁷²

Forschung und Entwicklung zur Umwandlung von Licht in nutzbare Energieformen hat eine lange Tradition in den Disziplinen Biologie, Chemie und Physik. Hier werden die Entwicklungen der Technikzukünfte (Kapitel 6) ansetzen:

⁶⁶ Bekanntermaßen entstanden auch fossile Energiequellen dank Sonnenlicht, ebenso ist das Sonnenlicht der Ursprung der Windenergie.

⁶⁷ Mit acht Lichtquanten können zwei Wasserstoffmoleküle hergestellt werden. Der mittlere Photonenfluss in Deutschland beträgt (gemessen als Anzahl der Photonen je Fläche) etwa 50 mol/m² pro Tag, womit man 25 Gramm Wasserstoff pro Tag produzieren könnte oder 200 Gramm CO₂ in Kohlenwasserstoffe umwandeln könnte (pro Tag und Quadratmeter; dabei wird hundertprozentige Effizienz angenommen). Dies sind 200 Tonnen je Tag und Quadratkilometer. Ein Feld von einhundert Quadratkilometern entspräche einer CO₂-Aufnahme von 20.000 Tonnen pro Tag beziehungsweise 7,3 Millionen Tonnen pro Jahr. Vergleichswert: CO₂-Emissionen in Deutschland erzeugen circa 800 Millionen Tonnen CO₂ pro Jahr.

⁶⁸ In Deutschland gibt es als Förderprogramme derzeit zum Beispiel Light2hydrogen (BMBF), Solar2fuel (BMBF), SPP 1613 „Solar H2“ (DFG), Solar Technologies go hybrid (Bayerisches Wissenschaftsministerium); international des Weiteren JCAP (USA), KCAP (Korea), BioSolarCells (Niederlande), SOFI (Schweden).

⁶⁹ „JCAP's mission is to develop a manufacturable solar-fuels generator, made of Earth-abundant elements, that will use only sunlight, water, and carbon dioxide as inputs, and will robustly produce fuel from the sun ten times more efficiently than current crops.“ <http://solarfuelshub.org/about/>.

⁷⁰ „Im Prinzip“ heißt: ohne Berücksichtigung der Verluste bei Energieumwandlung, Düngereinsatz etc.

⁷¹ Das CO₂ ist in der Luft nur in sehr geringem Umfang vorhanden (0,037 Prozent). Einige Konzepte der Künstlichen Photosynthese koppeln diese an großtechnische Prozesse, bei denen CO₂ in den Abgasen viel höher angereichert anfällt (zum Beispiel Hochöfen der Stahlherstellung). Auch könnte man die Künstliche Photosynthese an die Sequestrierung (also großtechnische Speicherung) von atmosphärischem CO₂ koppeln.

⁷² Power-to-X ist eines von vier Themenfeldern der BMBF-Förderinitiative „Kopernikus-Projekte für die Energiewende“, <https://www.bmbf.de/de/forschungsinitiative-zur-energiewende-startet-1364.html>.

BIOLOGIE

Biologische Ansätze sind unmittelbar orientiert an und inspiriert von der Fotosynthese in der Natur, mit der Sonnenlicht in chemisch gebundene Energie umgewandelt wird.

Fotosynthese

Die Fotosynthese erfolgt in mehreren Schritten:

- Der erste Schritt ist die Absorption von Lichtquanten, deren Energie zur Spaltung von Wasser in Wasserstoffionen und Sauerstoff eingesetzt wird.
- Die Pflanze reduziert enzymatisch die Wasserstoffionen in einer zweiten Reaktion zu hochenergetischen Wasserstoffatomen.
- Deren Energie dient dann in einer weiteren komplexen enzymatischen Reaktion der Reduktion von CO_2 zu Kohlenhydraten.

Hat man einen technischen Einsatz im Blick, bietet die natürliche Fotosynthese Raum für Anpassungen an technische Erfordernisse, die anders sind als jene in der Natur (Kasten siehe unten). Die Biomasseproduktion in der Landwirtschaft ist grundsätzlich begrenzt, unter anderem aufgrund widriger Umweltbedingungen (Nährstoffmangel, Hitze, Dürre etc.), welche die niedrige Effizienz der natürlichen Fotosynthese weiter reduzieren. Auch dies motiviert die Forschung zur Künstlichen Fotosynthese.

Effizienz und Stabilität des natürlichen Fotosynthesesystems

Die Effizienz der natürlichen Fotosynthese ist tatsächlich gering.⁷³ Nur rund ein Prozent der einfallenden Sonnenenergie wird von der Pflanze genutzt:

- Lediglich der sichtbare Teil des Sonnenlichts wird genutzt (400 bis 700 Nanometer): fünfzig Prozent Verlust
- Reflexion, Absorption und Transmission der Blätter: weitere zwanzig Prozent Verlust (bis hierher verbleiben also nur vierzig Prozent der Lichtenergie)
- Begrenzte Effizienz der Lichtreaktion (acht bis zehn Photonen je CO_2): 72 bis 77 Prozent Verlust (verbleiben also insgesamt etwa zehn Prozent)
- Respiration, die für Biosynthese benötigt wird: nochmals vierzig Prozent Verlust, sodass die „theoretische“ Effizienz rund sechs Prozent beträgt. Die tatsächliche Effizienz ist noch geringer (etwa 1,5 Prozent).

Auch die Stabilität des natürlichen Fotosynthesesystems ist beschränkt. Zentrale Proteine müssen circa dreimal pro Stunde ersetzt werden.⁷⁴ Im Fall der natürlichen Zelle gewährleisten Reparaturmechanismen und die Regenerationsfähigkeit der Proteine und anderer Zellkomponenten eine dauerhafte Leistungsfähigkeit.

So gibt es zahlreiche Ansatzpunkte zur „Optimierung“ der Fotosynthese hinsichtlich Effizienz, Robustheit, Art der Produkte, etwa unter dem Stichwort „Precision Engineering“.⁷⁵ Die Etablierung neuer CO_2 -Fixierungswege in Pflanzen ist ein weiteres aktuelles Forschungsfeld. Möglicherweise lassen sich hier Erkenntnisse über Mikroorganismen nutzen, bei denen man unterschiedliche CO_2 -Fixierungswege gefunden hat. Freilich ist zu prüfen, inwieweit man diese auf höher entwickelte Pflanzen übertragen kann. Auf der Ebene der **molekularen Komponenten**, deren Anzahl bei Lichtsammlung, Ladungstrennung und Katalyse insgesamt überschaubar ist, sind schließlich weitere Optimierungen denkbar.⁷⁶

⁷³ Vgl. Michel 2008.

⁷⁴ Michel 2008.

⁷⁵ So werden unter anderem mithilfe der CRISPR/Cas-Technologien passgenaue Genommodifikationen von bereits existierenden (und möglicherweise auch neuen) Kulturpflanzen entwickelt. Im Nahrungsbereich ist dies etwa die C3-C4-Konversion von Reis und der Versuch, mittels Synthetischer Biologie die Stickstoff-Fixierung der Knöllchenbakterien von Getreidepflanzen selbst machen zu lassen (zum Beispiel <http://be.mit.edu/directory/christophera-voigt>).

⁷⁶ Fotosynthetische Reaktionszentren sind in der Natur generell ähnlich, größere Variationsbreite besteht in den Antennen. Die Kenntnis der Komponenten und Matrix-Materialien zeigt, wie die Umwandlung in der Natur gelingt, und wie sich diese optimieren ließe.

CHEMIE

Aus chemischer Sicht besteht die Fotosynthese aus zwei Teilreaktionen: ⁷⁷

- Bei der fotokatalytischen **Wasserspaltung** entsteht neben Sauerstoff Wasserstoff.
- Bei der **CO₂-Reduktion** mit Wasserstoff und einem geeigneten Katalysator können als Produkte Kohlenwasserstoffe wie Methan entstehen.

Katalysatoren für die genannten Prozesse existieren bereits, dennoch sind zusätzliche Entwicklungsarbeiten notwendig.

Lichteinfang und Ladungstrennung könnten dabei – orientiert an dem natürlichen Vorbild der Antennen und Reaktionszentren – auf einzelnen Molekülen beruhen oder durch geeignete Fotohalbleiter bewerkstelligt werden.⁷⁸

Die konsequente Umsetzung einer Künstlichen Fotosynthese erfordert auch eine Betrachtung der zellulären Matrix. Hierbei handelt es sich um Proteine, in welche die Biokatalysatoren in der Natur eingebettet sind. Ein weiterer Punkt aktueller Forschung ist die „Selbsteilung“ beziehungsweise Reparatur geschädigter Komponenten dieser Systeme.

PHYSIK⁷⁹

Bei den physikalischen Ansätzen, die Elektrizität erzeugen, handelt es sich zunächst nicht um Künstliche Fotosynthese in dem Sinn, dass Licht in chemische Energie umgewandelt wird, sondern es wird elektrischer Strom

erzeugt. Diese Ansätze sind aber teilweise kombinierbar und vergleichbar mit den zuvor genannten.⁸⁰

Fotovoltaik: Licht wird zu Strom

Mithilfe von **Halbleitern** lässt sich Licht in elektrischen Strom umwandeln. Eine Solarzelle besteht typischerweise aus zwei Siliziumschichten, zwischen denen sich aufgrund unterschiedlicher Dotierung (kleine Zugaben von Elementen wie Bor oder Phosphor) ein internes elektrisches Feld aufbaut. Wird Licht von der Zelle absorbiert, wandern die dadurch erzeugten Ladungsträger (ein sogenanntes Elektron-Loch-Paar) zum Übergang zwischen den beiden Schichten, wo sie durch das elektrische Feld getrennt und auf unterschiedliche Seiten gezogen werden. Die dabei entstehende Spannung kann dann an der Außenseite durch Metallelektroden abgegriffen werden.

Bei Fotovoltaik handelt es sich nicht um „Künstliche Fotosynthese“ im Sinne der Synthese von Kohlenwasserstoffen oder anderer chemischer Verbindungen. Allerdings wird in dem hier verfolgten breiten Ansatz von Künstlicher Fotosynthese die Fotovoltaik eingeschlossen, da sie – wie geschildert – einen Teilprozess darstellen kann.

Weiterentwicklungen der Fotovoltaik zielen auf eine Erhöhung der Effizienz und Verringerung der Fertigungskosten. Höhere Effizienz kann zum Beispiel durch sogenannte Mehrfach-Solarzellen erreicht werden, die das Sonnenlicht auf mehrere Solarzellen aufteilen, die jeweils einen anderen Spektralbereich absorbieren und sehr effizient in elektrische Energie wandeln. Konzentratoren-Solarzellen konzentrieren das Sonnenlicht (mit Hilfe einer Linsen- und Spiegeloptik) um das bis zu Tausendfache, bevor es in elektrische Energie umgewandelt wird.⁸¹

⁷⁷ Zentral in allen Ansätzen der Fotosynthese – ob in der Natur oder künstlich – ist die Katalyse. Ein Katalysator ist ein Stoff, der eine chemische Reaktion beschleunigt, ohne verbraucht zu werden.

⁷⁸ Die Turnover-Zahlen (ein Maß für die Produktivität der Katalysatoren) sind innerhalb der letzten sechs bis acht Jahre um zwei Größenordnungen (Ni) beziehungsweise drei Größenordnungen (Fe, Co) gestiegen. Bei allen sich anschließenden Prozessen zur Energiewandlung und Energiespeicherung sind weitere Entwicklungen auf dem Gebiet der homogenen und heterogenen Katalyse unerlässlich.

⁷⁹ Fraunhofer 2014, insbesondere S. 47–61.

⁸⁰ Eine weitere Umwandlung von Sonnenenergie in Wärme ist die Solarthermie, deren Mechanismus jedoch weiter entfernt von Künstlicher Fotosynthese ist.

⁸¹ Am Fraunhofer ISE konnte man die effizienteste Solarzelle der Welt (Wirkungsgrad 44,7 Prozent) herstellen, die aus einer Vierfachsolarzelle mit dreihundertfacher Lichtkonzentration besteht (Fraunhofer 2014, S. 49).

Weitere Ansätze ergeben sich durch Kombination einzelner Elemente

Forscher, die sich der Künstlichen Fotosynthese widmen, entstammen den genannten Forschungstraditionen und sind zwischen Bio- und Nanotechnologie, Materialforschung, Molekularbiologie und Mikrobiologie verortet. Charakteristisch ist hier eine Verbindung ursprünglich getrennter Ansätze, von denen exemplarisch einige genannt werden:

Getrennte Systeme:

- Fotovoltaik (eine Solarzelle erzeugt aus Sonnenlicht elektrischen Strom) wird kombiniert mit elektrochemischer Umwandlung (der elektrische Strom treibt die Wasser-Elektrolyse an), um in diesen beiden Schritten die Sonnenenergie chemisch zu binden.^{82, 83}
- Mittels elektrischem Strom (zum Beispiel gewonnen über Fotovoltaik) wird spezifisches LED-Licht (LED = light emitting diode, Leuchtdiode) erzeugt, das ein gegebenes System zur Künstlichen Fotosynthese optimal ausleuchtet und betreibt (zum Beispiel zur CO₂-Konversion).

Kombinierte Systeme:

- Eine Lösung für eine zukünftige Energieversorgung ist die direkte Kopplung einer geeigneten Solarzelle mit stabilen und preisgünstigen Katalysatoren für die

Oxidation von Wasser (Anode) und für die Reduktion der Protonen (Kathode). Weltweit wird von Forschern verschiedener Disziplinen intensiv an den notwendigen Komponenten für eine solche **Fotoelektrokatalyse** (siehe Abschnitt 6.3.2) gearbeitet. Während für die Protonenreduktion bereits interessante Ansätze existieren (zum Beispiel biomimetische Katalysatoren aus der Hydrogenase-Forschung), gibt es bisher keine voll zufriedenstellenden Wasseroxidationskatalysatoren.⁸⁴

- Das „**Künstliche Blatt**“ von Daniel Nocera⁸⁵ ist ein System, das den fotoelektrochemischen Ansatz in einem Schritt zusammenbringt: Es handelt sich um eine Solarzelle, deren eine (lichtbeschienene) Seite (Kobaltkatalysator) Sauerstoff aus Wasser freisetzt und deren „Dunkel“-Seite (Katalysator aus Nickel, Molybdän, Zink) Wasserstoff freisetzt.
- Michael Grätzel⁸⁶ hat eine **Perowskit-Solarzelle** mit Katalysator/Elektroden aus Nickel-Eisen-Hydroxid entwickelt. Die benötigten Rohstoffe sind gut verfügbar, die Herstellung – im Vergleich zu Silizium-Solarzellen – günstig und ihr Wirkungsgrad konnte in kurzer (Forschungs-)Zeit deutlich gesteigert werden. Fragen der Stabilität und der Lebensdauer stehen derzeit im Zentrum der Entwicklungsarbeiten.

⁸² Als biologischer Ansatz kann hier ein Projekt des iGEM-Wettbewerbs genannt werden, bei dem zunächst Energie von einer Elektrode auf eine Bakterienzelle übertragen und in chemische Energie gewandelt wird, mit der CO₂ fixiert und anschließend in Produkte wie Isobutanol umgewandelt wird (<http://2014.igem-bielefeld.de>).

⁸³ Allgemein lassen sich „Power-to-X“-Technologien nennen, mit denen Strom in chemisch gebundene Energie gewandelt wird. Diese Umwandlungstechnologien werden auch zur Erhöhung der Flexibilität des Energiesystems entwickelt und erfordern unter anderem Entwicklungen in der Katalyse- und Materialforschung.

⁸⁴ Noch komplexer wird das System, wenn man CO₂ direkt foto(elektro)chemisch reduzieren will.

⁸⁵ http://nocera.harvard.edu/Research#hn_Solar_Energy_Conversion.

⁸⁶ <http://pi.epfl.ch/graetzel>.

5 PROJEKTMETHODIK UND -VERLAUF

Argumente zur frühzeitigen Einbindung der Öffentlichkeit in Technikgestaltung gibt es viele (siehe Kapitel 2), und eine Gestaltung ist in verschiedenen Bereichen der Technikentwicklung möglich. Wie aber soll die Einbindung der Öffentlichkeit konkret bewerkstelligt werden? Mit Dialogformaten zur Entwicklung von Technikzukünften betritt man unweigerlich ein Experimentierfeld der Wissenschafts- und Technikkommunikation. In diesem Projekt wurden anhand des Themas „Künstliche Fotosynthese“ einzelne Ansätze und ihre Wirkungen getestet. Durchweg befindet man sich mit der Diskussion in einem frühen Stadium der Technikentwicklung.

Der methodische Ansatz zur frühzeitigen Einbindung der Öffentlichkeit wird anhand der in Abbildung 2 dargestellten Prozessphasen erläutert.

Am Beginn des Prozesses steht die Formulierung einer **Herausforderung** und dann einer **Vision**, die der Herausforderung begegnen kann. Unter Berücksichtigung des **Forschungsstandes** werden **Technikzukünfte erstellt und bewertet**. Technikzukünfte bilden also die Grundlage für eine frühzeitige Einbindung der Öffentlichkeit. Um eine konkrete Mitgestaltung zu ermöglichen, sind Dialogformate mit Studierenden, interessierten Laien, Umweltverbänden

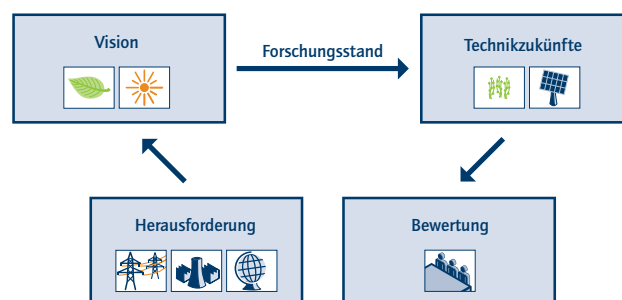
und weiteren Öffentlichkeiten denkbar, um Sachverhalte vor dem Hintergrund unterschiedlicher Präferenzen und Werte zu klären und zu interpretieren und um Handlungsoptionen zu bewerten.

Auf den einzelnen Stufen des Prozesses können einzelne Akteure unterschiedliche Bedeutungen besitzen; so kommt „Wissenschaft“ bei der Erhebung des Forschungsstandes sicherlich eine größere Rolle zu als bei der Formulierung der Herausforderung oder der Bewertung der Technikzukünfte, bei der sie nur eine Stimme unter anderen (etwa neben denen der Zivilgesellschaft) ist.

Der Prozess ist mit der „Bewertung“ nicht abgeschlossen. Die Bewertung von Technikzukünften kann möglicherweise zur Formulierung modifizierter oder neuer Technikzukünfte führen, Nachfragen zum Forschungsstand ergeben oder die Vision hinterfragen.

Der Projektverlauf wird entlang der erläuterten Phasen detailliert dokumentiert, um Voraussetzungen und Ziele transparent zu machen, um deutlich zu machen, wie und welche unterschiedlichen Gruppen beteiligt wurden, und um die Ergebnisse der einzelnen Dialogveranstaltungen darzustellen.

Abbildung 2: Frühzeitige Einbindung der Öffentlichkeit: Von der Formulierung einer Herausforderung zur Bewertung von Technikzukünften



6 VORAUSDENKEN UND ERSTELLEN VON TECHNIKZUKÜNFTEN DER KÜNSTLICHEN FOTOSYNTHESE (PROJEKT TEIL 1)

6.1 WORKSHOP ZUR ERHEBUNG DES FORSCHUNGSSTANDES

Da zu dem spezifischen Thema „Künstliche Fotosynthese“ außerhalb der Akademie und im internationalen Raum viel Kompetenz vorliegt, wurde am 3./4. Februar 2014 ein Workshop „Artificial Photosynthesis: Promising approaches, striking hurdles“ veranstaltet (Programm siehe Anhang). Partner war die Max Planck-Gesellschaft, die in ihrem Netzwerk die Vielfalt von Forschungsansätzen zum Thema spiegelt. Offene Fragen betrafen unter anderem Aspekte der zugrunde liegenden Mechanismen: Was weiß man über die Mechanismen der (Künstlichen) Fotosynthese, was nicht? Was ist allen Varianten der Natürlichen Fotosynthese gemeinsam, wo bestehen Unterschiede? Auf diese Weise erschloss sich die Projektgruppe das Forschungsfeld (vgl. Kapitel 4).

6.2 AUSWAHL, KONKRETISIERUNG UND FORMULIERUNG VON TECHNIKZUKÜNFTEN

Ausgehend von den Darstellungen im Workshop und weiteren Literaturrecherchen sollten auf der Basis der so erarbeiteten wissenschaftlichen Grundlagen Technikzukünfte formuliert werden. Angestrebt wurde ein narrativer Rahmen, in dem insbesondere die Ziele der Künstlichen Fotosynthese anhand konkreter Ausgestaltungsmöglichkeiten dargestellt und verglichen werden sollten mit Alternativen und dem Status quo. Darauf aufbauend erfolgte eine Bewertung zunächst aus Sicht von Wissenschaft und Wirtschaft, in die unter anderem Aspekte der Wirtschaftlichkeit einfließen, aber auch gesellschaftliche Entwicklungen und gegebenenfalls Differenzierungen nach Regionen (Deutschland, Europa, international). Zur Bewertung hat die Projektgruppe Fragestellungen, Ziele und Kriterien für Wissenschaft und Technik formuliert (Kasten).

Fragestellungen, Ziele und Kriterien für Wissenschaft und Technik

So groß das Potenzial der Nutzung der Sonnenenergie ist, so groß sind bis heute die damit verbundenen **Fragestellungen** wie zum Beispiel:

- Wie lässt sich das natürliche System technisch nutzen (Gesamteffizienz, Stabilität ...)?
- Welche Katalysatoren sind für die bei der Energiespeicherung beteiligten chemischen Reaktionen geeignet? Diese sollten nach Möglichkeit nicht toxisch und aus Rohstoffen herstellbar sein, die es in ausreichender Menge gibt.
- Werden natürliche Systeme nachgebaut und modifiziert (zum Beispiel gentechnisch), werden Teile natürlicher Systeme in künstliche Materialien/Matrizen eingebettet oder ist die Natur nur Inspirationsquelle?

Die **Zielgrößen** dieser technischen Systeme sind Effizienz, Robustheit und die Art der Produkte. Zur Betrachtung von Wirkungsgrad und Effizienz muss der gesamte Prozess betrachtet werden. Systeme zur Künstlichen Fotosynthese werden in vielen Fällen mit Blick darauf entwickelt, dezentral zu sein, also dort zu arbeiten, wo Bedarf besteht. Der Transport von Strom beziehungsweise von Treibstoffen – mit den damit verbundenen Verlusten – würde damit vermieden.

Hinsichtlich der technischen Nutzung der Fotosynthese liegt der Zeithorizont von marktfähigen Produkten bei 2050. Künstliche Fotosynthese mag schon früher einen sehr begrenzten und nischenbezogenen Anteil zur Energieversorgung leisten.

Zur Bewertung der Technikzukünfte lassen sich folgende **Kriterien** nennen:

- Nutzen individuell – volkswirtschaftlich
- Risiken: Kosten F&E, Infrastruktur, lokale Konsequenzen
- Zeitperspektive F&E, Skalierbarkeit
- Verfügbarkeit und Kosten der Rohstoffe, Ökotoxizität
- Effizienz und Stabilität der katalytischen Zentren
- CO₂ zentral aus Kraftwerksabgasen oder dezentral aus Umgebungsluft?
- Art der Produkte (Elektrizität, Wasserstoff, Kohlenwasserstoffe)
- Dezentrale Anlagen, dezentrale Energieerzeugung
- Die Energiewirtschaft kann mit der chemischen Industrie zusammenwachsen.
- Gesamtsystem, Kaskadenüberlegungen (etwa Abfallströme, Folgeprozesse)
- Gesellschaftliche Implikationen

Angestrebt wurde eine jeweils zweiseitige schriftliche Darstellung der Technikzukünfte mit folgenden Elementen:

- Allgemeine **Darstellung** der Technologielinie (Prozesse, Materialien, Wirkprinzipien, Produkte und Weiterverarbeitung)
- **Konkretisierung** eines Systems zur Anwendung (Vision, Erwartungen, Referenzsysteme)
- Bezug zur Rahmenerzählung und **Einbettung** in Gesamt-Energiesystem (Speicherung, Transport, Infrastruktur)
- **Kaskadenüberlegung** (was bedeutet das für Industrie, Rohstoffe, Speicher etc., gegebenenfalls Verdrängungseffekte)
- Zentrale **Herausforderungen**, Schritte auf dem Weg zum Ziel

Ausgehend von verschiedenen Forschungsansätzen, dem wissenschaftlich-technischen Stand und Entwicklungen in der Industrie wurden die Technikzukünfte strukturiert, inhaltlich

ausgearbeitet und auf einem Workshop „Künstliche Fotosynthese – Technikzukünfte“ (Berlin, 30. Oktober 2014, Programm siehe Anhang) vorgestellt und diskutiert.

6.3 DREI DARSTELLUNGEN VON TECHNIKZUKÜNFTEN DER KÜNSTLICHEN FOTOSYNTHESE

Die folgenden Darstellungen konkretisieren auf der Basis einer Übersichtsdarstellung der Forschungsaktivitäten (Kapitel 4) und von Diskussionen in der Projektgruppe verschiedene Ansätze zur Künstlichen Fotosynthese als Technikzukünfte und stellen diese zur Diskussion. Die Funktion dieser Darstellungen war zunächst, innerhalb der Projektgruppe ein gemeinsames Verständnis dieser Technikzukünfte zu entwickeln. Es diente dann – gemeinsam mit der Übersichtsdarstellung der Forschungsaktivitäten – als Grundlage für Dialogveranstaltungen.

6.3.1 EFFIZIENTE FOTOSYNTHESE MIT EINZELLERN UND PFLANZEN⁸⁷

Algen und Pflanzen nutzen die natürliche Fotosynthese und produzieren aus Wasser und Kohlendioxid Biomasse, die (teilweise) energetisch verwendet werden kann (Holz, Öle, Methan); letztlich sind auch die fossilen Energieträger auf diese Weise entstanden. Diese biologischen Systeme sind einfach herzustellen („sie wachsen von selbst“), kommen mit einfachen Rohstoffen⁸⁸ aus und produzieren die Energieträger direkt. Allerdings besteht beim Anbau von Energiepflanzen von vorneherein eine Konkurrenz zur Produktion von Nahrungsmitteln (vgl. S. 27).

Technikzukunft 1A: Algen-Biotechnologie

Fototrophe Mikroorganismen (Cyanobakterien und eukaryotische Mikroalgen) wandeln Sonnenlicht mit einer im Vergleich mit Nutzpflanzen höheren Effizienz in Biomasse

⁸⁷ Fachliche Beratung zu diesem Abschnitt/dieser Technikzukunft: Huub De Groot, Leiden University; Olaf Kruse, Universität Bielefeld; Bernd Müller-Röber, Universität Potsdam.

⁸⁸ H₂O und CO₂ – allerdings sind hier auch Dünger etc. zu berücksichtigen.

um. Neben ihrer Fähigkeit, auch vergleichsweise größere Mengen an Kohlendioxid aufzunehmen (optimales Wachstum bei circa einhundertfacher atmosphärischer CO_2 -Konzentration) und zu verwenden, besitzt ihr Aufbau als einzellige Organismen den großen **Vorteil**, dass keine metabolische Energie aus der Verwertung des Sonnenlichtes in sogenannte nicht-fotosynthetische Komponenten wie Wurzel, Stängel oder Blüte investiert werden muss. Aus diesem Grund werden bestimmte Cyanobakterien- und Mikroalgenpezies vermehrt in offenen Becken oder geschlossenen Fotobioreaktoren gezüchtet und zur Produktion von Biotreibstoffen wie Ethanol oder Biodiesel auf Land- oder Meeresflächen eingesetzt. Das geschieht vorzugsweise auf Flächen, die nicht anderweitig (etwa landwirtschaftlich) genutzt werden können.

Mit der Molekularbiologie und der Synthetischen Biologie eröffnen sich Möglichkeiten zur **Erhöhung der Effizienz** der Energieumwandlung in Biomasse von derzeit circa zwei bis drei Prozent auf mehr als sechs Prozent über das Design effizienterer Fotosynthesemechanismen in diesen Organismen. Hilfreich ist hier auch die zunehmende Verfügbarkeit von immer mehr Algenpezies, für die die notwendigen gentechnologischen und molekularbiologischen Werkzeuge zur Verfügung stehen, und aus denen sich somit „grüne Zellfabriken“ herstellen lassen.⁸⁹

Mögliche Produkte sind:

- Wasserstoff (Grünalgen, Cyanobakterien in Bioreaktoren)
- Kohlenwasserstoffe als Treibstoffe, zum Beispiel Alkane, Alkohole, Öle
- Je nach metabolischem Weg auch andere Produkte, zum Beispiel spezielle Fettsäuren, Proteine, Terpene

Die erfolgversprechendsten Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten liegen derzeit auf dem Gebiet der Produktion

von Alkoholen (als Benzinzusatz) und Ölen und Alkanen (als Grundsubstanz zur Herstellung von Dieseltreibstoff).

Hierzu müssen in den nächsten Jahren einerseits mittels synthetischer Biologie neue effiziente Algenstämme mit der Fähigkeit zur Biokatalyse des jeweiligen Zielproduktes hergestellt werden und andererseits produktive Produktionsanlagen unter Freilandbedingungen entwickelt werden.⁹⁰

Wie steht es um die **Reaktortechnologie**? Hoch- und mittelpreisige Produkte werden bereits standardmäßig in Rohr- oder Flachplattenreaktoren in Suspensionskultur hergestellt. Auf zell- und produktspezifische Belange wird hauptsächlich durch geometrische Parameter in Bezug auf Lichteintrag und Hydrodynamik Rücksicht genommen. Bei Hochwertprodukten im Pharmabereich (in der Entwicklung) werden LED-beleuchtete geschlossene Reaktoren entwickelt, in denen auch gentechnisch angepasste Algen kultiviert werden können. Für niedrigpreisige Produkte zielen aktuelle Arbeiten auf eine Verringerung des Energieeintrags für die Reaktoren und für die Produktabtrennung durch extrazelluläre Produkte ab. Auch eine bessere Kanalisierung des fixierten CO_2 in die Produkte auf Zellebene unter Einsparung von Energie (in Form von ATP) steht damit in direktem Zusammenhang. Entwicklungen in Richtung immobilisierter Zellen in porösen transparenten Matrices unterstützen dieses Prozessdesign. Fotobioreaktoren für eine mögliche Produktion von Wasserstoff befinden sich erst in der Entwicklungsphase.

Wie steht es um **Kaskadenüberlegungen**? Zu den Produktionsanlagen, in denen Algen wachsen, deren Produkte geerntet werden, sind systemische Überlegungen etwa hinsichtlich der Abfallströme anzustellen:

- Geschlossene Wasserkreisläufe in den Reaktoren vermindern drastisch den Wasserverbrauch.

⁸⁹ Praktisch jedes sich derzeit gründende KMU im Algenbiotechnologiesektor wie Joule Unlimited (mit Unterstützung der Audi AG), Matrix Genetics, GreenPacificBio, Solazyme, Synthetic Genomics (mit Exxon Mobil Unterstützung) und Algenol (alle USA) oder Photanol (NL) setzt sich aktuell mit neuen Verfahrenstechniken auf der Basis der synthetischen Molekularbiologie auseinander.

⁹⁰ Erste entsprechende Demonstrationsanlagen im Hektarmaßstab für die Produktion von Ethanol aus Cyanobakterien sind in den USA bereits im Aufbau. Realistischerweise könnten hier Produktionsraten von bis zu 30.000 Liter pro Hektar und Jahr erwartet werden.

- Die restliche Algenbiomasse lässt sich problemlos zur Biogasherstellung mittels anaerober Fermentation nutzen.
- Stickstoff und Phosphat können aus diesem nachgeschalteten Energiegewinnungsprozess recycelt werden.

Wo liegen die zentralen **Herausforderungen**? Ziel ist eine kontinuierliche Freilandproduktion der Zielprodukte in geschlossenen Fotobioreaktoren. Aufwendige Ernteverfahren sollen vermieden werden. Von besonderer Bedeutung sind folgende Punkte:

- Die Identifizierung robuster Mikroalgen zur Nutzung als grüne Zellfabriken und die Entwicklung molekularer Werkzeuge für gezielte Veränderungen in diesen Spezies
- Die Charakterisierung und Effizienzsteigerung der Sammlung der Lichtenergie und Umwandlung in chemisch nutzbare Energie
- Die Optimierung der Nutzung der eingefangenen Lichtenergie zum Antreiben biokatalytischer Prozesse, deren primäres Ziel die Herstellung fotosynthetischer Zwischenprodukte (Pyruvat, Acetyl-CoA, Fettsäuren) ist, die sich anschließend für die katalytische Herstellung von kohlenstoffhaltigen Biotreibstoffen eignen
- Die Entwicklung von Mechanismen zur schnellen Abscheidung der hergestellten Produkte, welche in der Regel toxisch für die Zelle sind. Dazu zählt auch die kontrollierte Sekretion des Produktes aus der Zelle.
- Die Etablierung einer gesellschaftlichen Akzeptanz der Nutzung von gentechnologisch veränderten Algen zur Energie- und Wertstoffproduktion beziehungsweise Vermeidung von Gentechnik und Einsatz neuer Züchtungsmethoden (zum Beispiel Evolutionary Genetics)
- Skalierung der Reaktortechnik
- Ausschluss der Möglichkeit des Freisetzens gentechnisch veränderter Organismen und Minimierung des Risikos bei Unfällen (zum Beispiel durch Züchtung von Mikroalgen, etwa mit Mitteln der Synthetischen

Biologie, deren Überlebenschancen in natürlicher Umwelt verschwindend gering sind)

Technikzukunft 1B: „Super-Pflanzen“

Ein Beispiel ist die züchterische und biotechnologische Bearbeitung von aquatischen Pflanzen, unter anderem **Wasserlinsen**. Diese besitzen einen geringeren Ligninanteil als Landpflanzen (aufgrund der aquatischen Lebensweise benötigen sie das Lignin nicht zur Stabilisierung ihres pflanzlichen Körpers) und sind damit besser geeignet für eine effiziente Biomasseproduktion (ähnlich wie die Algen, die weniger nicht-fotosynthetische Bestandteile haben als Pflanzen). Ein erstes Ziel ist die Anpassung von Wasserlinsen (die normalerweise im Süßwasser leben) an das Leben in Meerwasser, damit dieses für die Biomasseproduktion genutzt werden kann. Ein weiterer Ansatzpunkt wäre die Erweiterung des genutzten Lichtspektrums für die Photosynthese. Effiziente Verfahren zur genetischen beziehungsweise synthetisch-biologischen Optimierung von Wasserlinsen müssen dafür entwickelt werden.

6.3.2 FOTOELEKTROCHEMIE⁹¹

Durch elektrochemische Prozesse kann die elektrische Energie aus erneuerbaren Quellen industriell und wirtschaftlich dazu genutzt werden, Wasser und CO₂ als Reaktionspartner elektrochemisch in neue, aus Kohlenstoff und Wasserstoff zusammengesetzte Moleküle umzuwandeln. Wasser und Kohlendioxid werden also mithilfe von Sonnenlicht über den „Umweg“ Elektrizität in Energieträger und in Rohstoffe für die Industrie umgewandelt.

Das CO₂ als **Ausgangsstoff** entstammt Kraftwerks- und Industrieabgasen oder Biogasprozessen. Dort steht es in großen Mengen zur Verfügung⁹² und kann in Zeiten, in denen nicht ausreichend Sonnen- oder Windenergie vorhanden ist, auch

⁹¹ Fachliche Beratung zu diesem Abschnitt/dieser Technikzukunft: Maximilian Fleischer, Günter Schmid: Siemens AG; Jens Busse, Sascha Hoch: Evonik Industries AG.

⁹² Die größeren deutschen Braunkohlekraftwerke emittieren zwanzig bis einhundert Prozent CO₂-Konzentration, bezogen auf eine Anlage können das bis zu 50.000 Tonnen pro Tag sein.

in größeren Mengen so lange gespeichert werden, bis wieder ausreichend erneuerbar gewonnener Strom bereitsteht.

Im Prinzip kann das CO₂ unmittelbar aus der Atmosphäre entnommen werden. Dies wird einen weiteren Entwicklungsschritt zu kleineren, verteilten, dezentralen Systemen erforderlich machen. Für diesen Schritt werden dann nicht mehr zentrale und mitunter weit entfernte Solar- oder Windkraftwerke zur Stromversorgung genutzt, sondern es werden foto- und elektrochemisch aktive Katalysatormaterialien eingesetzt, die bei Bestrahlung mit Licht die benötigte elektrische Energie direkt dort erzeugen, wo sie gebraucht wird. Im Ergebnis liegen Paneele vor, vergleichbar den heutigen Solarmodulen, die mit Licht beschienen werden, um direkt atmosphärisches CO₂ in nutzbringende Ausgangsstoffe umzuwandeln.

Technikzukunft 2A: Fotoelektrochemische Umwandlung von CO₂ aus Industrieabgasen („Industrieabgase“)

Eine zentrale Anlage könnte an ein großes Stahl- oder Zementwerk oder ein Gas- oder Kohlekraftwerk gekoppelt sein. Hier fallen große Mengen CO₂ (als Abfallprodukt) an, die üblicherweise in die Atmosphäre entlassen werden. Mit der schon heute vorhandenen Technologie⁹³ kann das CO₂ aufgefangen und in Lösung effektiv in einem Tank gespeichert oder leicht an den Ort der Nutzung transportiert werden.

Bei ausreichender Verfügbarkeit von erneuerbarem Strom wird das gespeicherte CO₂ elektrochemisch aufgearbeitet. Die Aufarbeitung findet in einem sogenannten Elektrolyseur statt, der CO₂ in wässriger Lösung direkt und in einem Schritt in kohlenstoffhaltige Zielprodukte und Sauerstoff überführt.

Die **Art des Produkts** wird durch das Kathodenmaterial bestimmt. Die gängigen Wasserstoff-Elektrolyseure verwenden als Elektrodenmaterialien bislang Edelmetalle wie Platin beziehungsweise Edelmetalloxide (Ruthenium- oder Iridiumoxide), die für einen großtechnischen Einsatz durch andere

häufig vorkommende und preisgünstigere Metallkatalysatoren ersetzt werden müssten. Beispielsweise entsteht an Gold-, Silber- oder Zinkelektroden vornehmlich Kohlenmonoxid (ein chemischer Grundstoff) und an Bleielektroden vornehmlich Formiat, das Salz der Ameisensäure. An kupferbasierten Elektroden entstehen Produkte wie Methan oder Ethen.⁹⁴

In einer weiteren Variante könnte man in dem elektrokatalytischen Prozess Methan entstehen lassen, das dann direkt in das vorhandene Erdgasnetz eingespeist wird.

Wie es steht es um **Kaskadenüberlegungen**? Dieses Vorgehen kann die CO₂-Emissionen deutlich reduzieren:

- Die chemische Industrie und die Energiewirtschaft werden zusammenwachsen.
- Überschüssige Energie dient dabei als Ausgangsstoff für ökonomisch wertvolle chemische Produkte.
- Die Abhängigkeit von Erdöl- oder Erdgasimporten als Ausgangsstoffen wird reduziert. Auf Basis von Sonnenlicht werden die Ausgangsstoffe für die chemische Industrie wie auch längerfristig für die Gewinnung von Treibstoff zur Verfügung stehen.
- Diese Technologie kann grundlegend neue Chancen für wirtschaftlich benachteiligte Regionen bieten, die über eine hohe Sonneneinstrahlung verfügen: Wenn das CO₂ eines Tages aus der Umgebungsluft entnommen wird, kann Sonnenlicht die primäre Ressource zur Erzeugung einer großen Bandbreite von Produkten darstellen.

Bestehende Infrastruktur kann weiterhin genutzt werden, Methan könnte in das existierende Erdgassystem eingespeist werden und Methanol als flüssiger Brennstoff einfach gespeichert und in Brennstoffzellen oder modifizierten Verbrennungsmotoren eingesetzt werden. Diese Stoffe haben also Vorteile gegenüber Wasserstoff, der nur unter hohem Druck (circa 700 bar) oder bei sehr tiefen Temperaturen (unter 21 Kelvin) gespeichert und transportiert werden kann.

⁹³ Zum Beispiel der Aminwäsche.

⁹⁴ Ethen ist der weltweit höchst volumige organische Rohstoff der chemischen Industrie für Kunststoffe, Lösungsmittel oder Feinchemikalien, der derzeit in aufwendigen thermischen Verfahren aus fossilen Rohstoffen hergestellt wird.

Die genannten Verbindungen können auch aus primär erzeugtem Wasserstoff katalytisch erzeugt werden. Bei allen handelt es sich um interessante Speicherstoffe für Sonnenenergie.

Zur flächendeckenden Versorgung mit flüssigen Kraftstoffen könnte die vorhandene Infrastruktur genutzt werden.

Wo liegen die **Herausforderungen**? Für die **großtechnische Umsetzung** ist es erforderlich, die Selektivität zum Zielprodukt zu erhöhen, hohe Stromdichten für eine effiziente Umsetzung zu erreichen sowie die Langzeitstabilität des Elektrolysesystems.

Folgende Prozesse müssen in größter Breite zuverlässig und wirtschaftlich funktionieren:

- Selektivität, Stabilität und Reaktionsrate des Elektrokatalysators
- Produktreinheit und Aufreinigung
- Justierung zu Folgeprozessen

Die Implementierung der Anlagen erfordert Aufskalierbarkeit vom Labor- zum großtechnischen Maßstab.

Technikzukunft 2B: Künstliche Fotosynthese in Nanokügelchen

In der Umsetzungsstrategie von Technikzukunft 2A geschieht die Künstliche Fotosynthese an einem zentralen Ort mit Kopplung an den Standort, etwa eines Kraftwerks. Die Einzelkomponenten des Systems (Quelle der elektrischen Energie, CO₂-Abtrennung, Elektrolyse, Speicherung beziehungsweise Weiterverarbeitung der Produkte) sind in der Anlage weitläufig getrennt.

Eine (längerfristige) Perspektive ist es, alle Komponenten des Systems zu vereinen, und zwar auf der Nanoskala. Diese „nanoskaligen Fabriken“ (Katalysatoren) werden dann zum Paneel vereinigt und bilden die dezentrale Produktionseinheit für Energieträger. Genauso wie das großindustrielle System beinhalten die Nanostrukturen neben dem Trägermaterial SiO₂ folgende Komponenten⁹⁵:

- Quasi-Anoden mit Oxidationskatalysatoren (CoO_x, MnO_x). Dieser Teil absorbiert auch das Licht und bildet die „Quasi-Stromquelle“.
- Quasi-Kathoden mit Reduktionskatalysatoren
- Pfade für den Elektronentransport
- Pfade für den Protonentransport in Elektrolyten
- Pfade für den Stofftransport

6.3.3 ALTERNATIVE FOTOVOLTAIK⁹⁶

Neben Silizium-basierten Zellen werden Solarzellen auch auf Basis anderer Materialien erforscht. So bezeichnet die „**Organische Fotovoltaik**“ Stromerzeugung durch Solarzellen mit organischen Molekülen oder Polymeren als Halbleiter. Lichtabsorption, Ladungstrennung und Ladungstransport sind hier – wie im Fall der natürlichen Fotosynthese – die Schritte zur Umsetzung von Licht in elektrischen Strom. Im Vergleich mit Silizium-Solarzellen lassen sich Solarzellen auf der Basis von organischen Molekülen, hoch- und niedermolekularen organischen Halbleitern, Polymeren oder Farbstoffen potenziell einfacher und kostengünstiger herstellen (wegen geringen Materialaufwands und kostengünstigerer Herstellungsprozesse).⁹⁷ Neuartige Möglichkeiten ergeben sich auch in Anwendung und Design. Ein Hauptproblem

⁹⁵ Vgl. http://www.cchem.berkeley.edu/molsim/solar_energy/instructors/heinz-frei.html.

⁹⁶ Fachliche Beratung zu diesem Abschnitt/dieser Technikzukunft: Uli Würfel, FH-ISE.

⁹⁷ Die organische Fotovoltaik gilt als sehr kostengünstig. Dies rührt zum einen vom geringen Materialbedarf her. Aufgrund der sehr geringen Dicke der fotoaktiven Schicht von großordnungsmäßig einhundert Nanometern lassen sich mit einem Gramm Material circa zehn Quadratmeter beschichten. Zum anderen können die Materialien entweder aus der Lösung oder im Vakuum bei niedrigen Temperaturen verarbeitet werden, was die Verwendung flexibler Substrate aus Kunststoffen erlaubt. Dadurch sind die darauf hergestellten Solarzellen flexibel und haben nur ein geringes Gewicht. Die Verwendung organischer Materialien ermöglicht den Einsatz sogenannter Rolle-zu-Rolle-Produktionstechnologie, das heißt von kontinuierlichen Beschichtungsverfahren. Damit lassen sich sehr große Produktionsgeschwindigkeiten und somit hohe Durchsatzraten erzielen, wodurch die Kosten für das Produkt praktisch ausschließlich von den Materialkosten bestimmt werden.

der organischen Fotovoltaik ist die mangelnde Stabilität der eingesetzten Stoffe, zumal im Außenbereich.

Ziel ist nun eine Steigerung der Effizienz (derzeit etwa zehn Prozent) durch neue, insbesondere stabile Materialien und Kombinationen mit anderen Fotovoltaiktechnologien sowie – in der Perspektive – durch verbessertes Photonenmanagement.⁹⁸

Auch die sogenannten **Farbstoff-Solarzellen** basieren teilweise auf organischen Stoffen. Diese Solarzellen wandeln Sonnenlicht mithilfe eines Farbstoffs in elektrische Energie um. Zwei dünne, leitfähig beschichtete Glasplatten dienen als Elektroden. Auf einer Elektrode ist eine etwa zehn Mikrometer dünne Schicht aus Titandioxid aufgebracht, die mit feinen Kanälen durchsetzt ist. Diese poröse Schicht mit großer Oberfläche ist mit dem Farbstoff beschichtet. Werden die Farbstoffmoleküle durch Licht angeregt, geben sie Elektronen ab, die durch das Titandioxid zur Elektrode gelangen. Diese Solarzellen können teilweise transparent hergestellt werden und machen zum Beispiel stromerzeugende Fenster möglich.

Neben Fotovoltaikkraftwerken gibt es noch andere potenzielle Märkte, die für die organische Fotovoltaik geeignet erscheinen. Diese lassen sich grob in zwei Gruppen einteilen.

Technikzukunft 3A: Autarke Kleinverbraucher

Zum einen sind dies Nischenanwendungen, bei denen ein geringerer Wirkungsgrad durchaus tolerierbar ist, die Lebensdauer nur wenige Jahre betragen muss, zudem aber gewisse Ansprüche an Gewicht und Flexibilität gestellt werden. Als Beispiel mag hier eine Markise für ein Straßencafé dienen, die sowohl leicht als auch wiederholt ein- und ausrollbar sein muss. Aber auch die autarke Versorgung kleiner Verbraucher wie beispielsweise Sensoren und Anzeigenelemente im Innen- und Außenraum kann vorteilhaft sein: Man spart die Verkabelung für die elektrische Versorgung dieser Geräte.

Technikzukunft 3B: Gebäudeintegrierte Fotovoltaik

Die zweite Gruppe potenzieller Märkte ist die gebäudeintegrierte Fotovoltaik. In Zukunft werden Energieeinsparung und Energieerzeugung im Gebäudesektor eine sehr wichtige Rolle spielen. Da Dachflächen begrenzt sind, werden auch die übrigen Flächen an einem Gebäude für die Nutzung zur Verfügung stehen müssen. Wegen des nötigen Lichteinfalls erscheint eine semitransparente, stromproduzierende Solarfassade als eine äußerst interessante Option. Natürlich ließe sich das genauso mit hocheffizienten Solarzellen aus kristallinem Silizium realisieren, und zwar durch die Anordnung vieler kleinerer Solarzellen mit entsprechenden Freiräumen dazwischen. Allerdings sind diese Flächen sichtbar, sodass hier ästhetischen Gesichtspunkten eine große Bedeutung zukommt. Die organische Fotovoltaik eröffnet neue Möglichkeiten: Der Grad der Transparenz ist durch die Dicke der fotoaktiven Schicht stufenlos einstellbar, wobei hier natürlich – wie bei allen anderen Fotovoltaiktechnologien – gilt, dass eine Solarzelle, die mehr Licht durchlässt, auch weniger elektrische Energie erzeugt. Die Fassade sollte daher einen guten Kompromiss aus Transparenz und Stromproduktion bilden. Zudem lassen sich aufgrund der Vielfalt der zur Verfügung stehenden organischen Materialien Fassaden in unterschiedlichen Farbgebungen realisieren. Dies ermöglicht Architekten die nötige Flexibilität für eine harmonische Integration solcher Fassadenelemente in das Gesamtkonzept des Gebäudes.

Wie steht es um **Kaskadenüberlegungen**? Es sollte beachtet werden, dass bei einem fotovoltaischen System zu den Kosten für die Solarzellen beziehungsweise Module noch die sogenannten Systemkosten hinzukommen. Dies sind sowohl die Kosten für die Montage und die Befestigung (Ständerung, Aufhängung und dergleichen) als auch jene für die elektrische Installation wie Inverter, Kabel etc. Da einige dieser Kosten mit der Fläche skalieren, entsteht das scheinbare Paradoxon, dass selbst wenn Solarmodule kostenlos wären, sich das Gesamtsystem dennoch erst ab einem bestimmten Mindestwirkungsgrad wirtschaftlich

⁹⁸ Zum Beispiel Hochkonversion, bei der zwei Photonen mit wenig Energie zu einem Photon mit mehr Energie kombiniert werden.

lohen würde. Wie hoch dieser Mindestwirkungsgrad ist, lässt sich nicht exakt sagen, aber er dürfte etwa fünf bis neun Prozent betragen. Sicherlich ließe sich argumentieren, dass eine ausrollbare, vergleichsweise leichte Folie durchaus zu Kostenersparnissen aufgrund des geringeren Montageaufwands bei der Installation führen könnte.

So oder so verdeutlichen diese Überlegungen, dass der Wirkungsgrad organischer Solarzellen noch weiter erhöht werden muss, bevor diese Technologie relevant für Fotovoltaikkraftwerke werden kann. Diese Zusammenhänge hängen natürlich stark von der weiteren Entwicklung der

konventionellen Solarzellen aus kristallinem Silizium, anorganischer Dünnschichttechnologien wie Cadmium-Tellurid oder CIGS (Kupfer-Indium-Gallium-Diselenid) und neuer Entwicklungen wie Perowskit-Solarzellen ab.

Welches sind zentrale **Herausforderungen**? Organische Solarzellen haben sich in den vergangenen Jahren sehr vielversprechend entwickelt. Inzwischen konnte der Wirkungsgrad auf über elf Prozent gesteigert werden. Allerdings wurden die Rekordwerte auf kleinen Flächen von circa einem Quadratzentimeter erreicht, entsprechende Modulwirkungsgrade sind bisher noch deutlich geringer.

7 DISKUSSION UND BEWERTUNG VON TECHNIKZUKÜNFTEN (PROJEKT TEIL 2)

7.1 SCIENCE & TECHNOLOGY CAFÉ

Eine erste Erfahrung mit der Diskussion des Themas „Künstliche Fotosynthese“ und den entwickelten Technikzukünften bot ein Science & Technology Café, das am 13. September 2014 im Rahmen der 128. Versammlung der Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte (GDNÄ) in Mainz stattfand. Hier wurde eine „wissenschaftliche Öffentlichkeit“ adressiert, also Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus nicht direkt betroffenen Disziplinen. In dieser Veranstaltung wurden Leitfragen für die Diskussion entwickelt und geprüft, welche „neuen“ Aspekte in der Diskussion um Technikzukünfte aufkommen können, die im engeren Umfeld der Projektgruppe noch nicht so stark in den Blick genommen wurden. Im Science Café mit rund einhundert Teilnehmerinnen und Teilnehmern waren kurze Impulse von Wolfgang Lubitz und Alfred Pühler der Ausgangspunkt für eine durch Marc-Denis Weitze moderierte Diskussion.

Im Kasten werden – wie in den weiteren Abschnitten für die anderen Dialogformate – diejenigen Punkte dokumentiert, die bei den Diskussionen nach der Vorstellung

des Themas im Vordergrund standen (teilweise angeregt durch die Impulsgeber, teilweise akzentuiert durch die Teilnehmer), „neue“ Aspekte, die die Impulsgeber beziehungsweise die Projektgruppe noch nicht explizit im Blick hatte, und offene Fragen.

Deutlich wurde in der Diskussion, dass das Thema „Künstliche Fotosynthese“ selbst unter Wissenschaftlern noch wenig bekannt ist und bei solchen Veranstaltungen die Herausforderung, die Vision sowie der Forschungsstand, insbesondere der Bezug zur Fotovoltaik, klar erläutert werden müssen. Deutlich wurde ebenso, dass vermeintlich „vom Thema entfernte“ Punkte neue Bezüge eröffnen können, wie zum Beispiel Fragen zur Stickstoff-Fixierung, zu Desertec, aber auch Fragen zu Grundregeln der Akzeptanz.

7.2 KONZEPTION WEITERER DIALOG- VERANSTALTUNGEN

Im zweiten Teil des Workshops am 30. Oktober 2014 (Programm siehe Anlage) wurde diskutiert, wie nun der

Diskussionspunkte, „neue“ Aspekte, offene Fragen

„Technik“

- CO₂-Nutzung/-Verwertung „an der Quelle“ (Industrieabgase)
- Als Referenz für die Effizienz der Künstlichen Fotosynthese dient die Kombination von Fotovoltaik und Elektrolyse (17 Prozent Effizienz).
- Gibt es Alternativen zu Magnesium-Ionen in Chlorophyll, wodurch sich möglicherweise die Effizienz steigern ließe?
- Geht es bei Künstlicher Fotosynthese um das „Vorbild Natur“ oder um „rein technische“ Systeme?
- Welche Bezüge bestehen zur Stickstoff-Fixierung?

„Gesellschaft/Kommunikation“

- Thematische Bezüge zu Desertec, Carbon Capture and Storage (CCS), „Energiesparlampen“ und Infrastruktur wurden genannt
- Kann/wird eine Entwicklung neuer Energiequellen zu noch mehr Verbrauch führen beziehungsweise anregen?

Diskurs um die Technikzukünfte mit Gruppen jenseits von Wissenschaft und Wirtschaft geführt werden könne (interessierte Laien, NGOs, Studierende). Impulsvorträge zu Dialog- und Beteiligungsformaten sowie Erfahrungen mit einer frühen Einbindung der Öffentlichkeit bei neuen Technologien führten die Vielfalt an Möglichkeiten und Herausforderungen der Einführung neuer Perspektiven (in Ergänzung zu denjenigen der Wissenschaft und Wirtschaft) vor Augen:

- Zunächst ist zu definieren, welches die jeweiligen Ziele der Kommunikation sind (zum Beispiel Interesse wecken, Akzeptanz vorbereiten, neue Ideen und Lösungsansätze gemeinsam finden, Impulse für die Wissenschaftspolitik geben). Handelt es sich um eine langfristige Kommunikationsstrategie bei der Einführung beziehungsweise Begleitung neuer Technologien? Dementsprechend ist die jeweilige Zielgruppe zu identifizieren und eine Erfolgskontrolle zu gestalten.
- Die Kommunikation beziehungsweise die Dialogveranstaltungen sollen differenziert nach Zielen, Zielgruppen und Formaten geplant und durchgeführt werden.
- In der Diskussion zeigte sich die Herausforderung, Fakten und Werte bei der Erstellung und Bewertung von Technikzukünften zu trennen.
- Angeregt wurde, vorhandene Plattformen zu nutzen (zum Beispiel das Internationale Jahr des Lichts)

Im Einzelnen wurden folgende Formate angedacht:

- Science Cafés mit der interessierten Öffentlichkeit
- Comic-Workshop
- Veranstaltungen mit Studierenden

Ziel der Dialogveranstaltungen war, Meinungen und Vorstellungen der Teilnehmerinnen und Teilnehmer zum Thema zu erheben. Als Dialogveranstaltungen wurden im weiteren Projektverlauf Science Cafés in München und in Tegernsee durchgeführt, ein Comic-Workshop für

Schülerinnen und Schüler und ein Workshop mit Fokus auf die Kommunikation von Grundlagenforschung und Neuen Technologien für Studierende. Die Darstellung des Themas und der Technikzukünfte erfolgten auf unterschiedliche Weise: In einer wissenschaftlich-technischen Darstellung (als Vortrag oder in Dialogform), durch Museumsexponate (beim Comic-Workshop), mit Geschichten zu den einzelnen Technikzukünften (Science Cafés) und anhand medialer Darstellungen (Studierenden-Workshop). Die Meinungen, Vorstellungen und Fragen der Teilnehmer zum Thema wurden in der moderierten Diskussion geäußert (Dokumentation durch Gesprächsnotiz und teilweise Flip Chart) beziehungsweise visualisiert (Comic-Workshop).

Im Folgenden werden die vier Dialogveranstaltungen im Vergleich beschrieben und deren Ergebnisse dokumentiert.

7.3 COMIC-WORKSHOP

06.06.2015, 9:30 bis 19:00 Uhr; München, Deutsches Museum und acatech Geschäftsstelle

Beteiligte:

Konzept und Leitung: Philipp Schrögel (Wissenschaftskommunikator); weitere Beteiligte: Max Baitinger und Markus Färber (Comic-Künstler), Marc-Denis Weitze (wissenschaftlicher Input); zehn Teilnehmer

Zielgruppe und Ziele:

Input von Schülerinnen und Schülern durch Diskussion und Comic-Darstellungen aufnehmen

Zunächst fand im Deutschen Museum eine Führung zum Thema „Anthropozän“ statt⁹⁹, die die historische Entwicklung der Energietechnik zum Inhalt hatte, jeweils mit einem Exponat und dem zugehörigem Comic: Dampfmaschine und Dieselmotor (Umwandlung chemischer Energie in Wärme in mechanische Energie), Walchensee-Kraftwerk

⁹⁹ Siehe Deutsches Museum 2015.

Abbildung 3: Ein Teilnehmer des Comic-Workshops berichtet von einem Wald mit supereffizienten Bäumen, aus deren Stämmen Öl fließt – und deren Blätter schwarz sind.

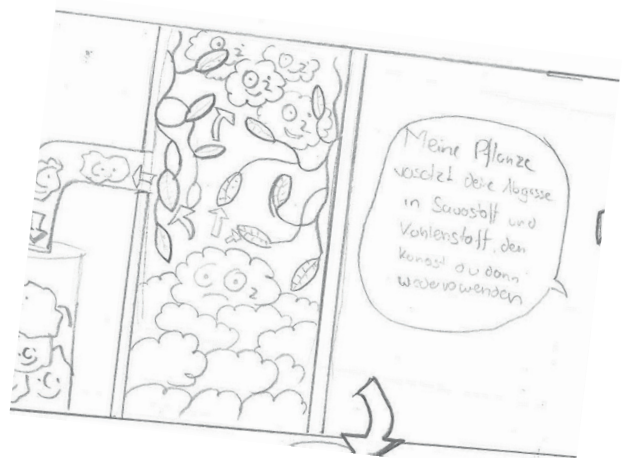


Quelle: acatech/Philipp Schrögel

Abbildung 4: Eine Auswahl der bei dem Workshop entstandenen Comics: „Der energiegeladene Ball“ sammelt während des Spielens Licht- und Bewegungsenergie. „Die grüne Fabrik“ verarbeitet ihre Abgase selbst. Die Pflanze „Daisy“ wächst an Hauswänden, produziert Strom und macht die Städte bunt. „Die Super-Alge“ kümmert sich nicht nur um Energie, sondern auch um die Verschmutzung der Meere durch Plastik.



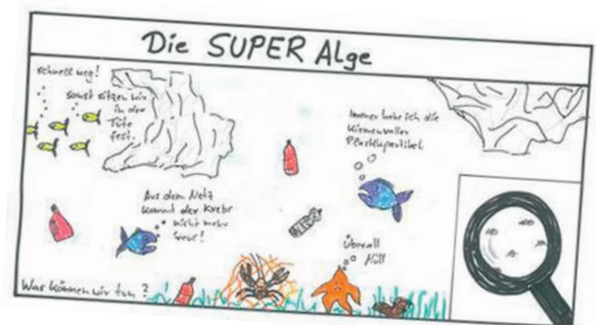
Quelle: acatech/Simone Jaud



Quelle: acatech/Niklas Finger-Collazos



Quelle: acatech/Laura Bittner



Quelle: acatech/Claudia Strauß

Diskussionspunkte, „neue“ Aspekte, offene Fragen

Hauptergebnis des Workshops sind die einzelnen Comics, die konkrete Ideen behandeln (Simone Jaud: „Der energiegeladene Ball“¹⁰⁰, Claudia Strauß: „Die Super-Alge“¹⁰¹), aber auch die Geschichte hinter der Technik (Philip Schrögel: „Schwarzwald“¹⁰²) und auch ganz konkret die Wechselwirkungen zwischen der Technologie und Gesellschaft (Laura Bittner: „Daisy“¹⁰³).

Es wurden auch kritische Punkte in der Realisierung betrachtet. Als „neue“ Anwendungen wurden darüber hinaus in der Diskussion künstliche Blätter diskutiert, die als Sonnensegel im All Energie umwandeln und diese zur Erde „funken“. Eine andere angedachte Anwendung betrifft druckbare organische Fotovoltaik: Getränkeflaschen lassen sich an einem heißen Sommertag mit „Lichtenergie“ kühlen.

(Erneuerbare Energie/Energiespeicher), Nano- und Biotechnologie, Entsorgung radioaktiven Abfalls, Solarenergie und schließlich die Anthropozän-Ausstellung selbst.

Daraufhin wurden das Thema „Künstliche Fotosynthese“ und die Technikzukünfte vorgestellt und diskutiert. Es folgte eine Einführung in das Comic-Zeichnen durch Comic-Künstler (Wie findet man Themen? Wie entwickelt man eine Geschichte? Welche zeichnerische Technik gibt es?), bevor die Arbeit an eigenen Comics mit Zukunftsvisionen zur Künstlichen Fotosynthese begann (Entwurf, Ausarbeitung, gegenseitige Vorstellung).

Für die Teilnehmerinnen und Teilnehmer war das Konzept mit der Kombination aus Museumsbesuch zur Inspiration

und anschließender kreativer Arbeitsphase mit einer kurzen Einführung in das Thema und in die künstlerische Arbeit gelungen. Sie hätten sich teilweise mehr Informationen zur Künstlichen Fotosynthese an sich gewünscht, um die Technologie, Erwartungen und formulierten Technikzukünfte besser verstehen zu können. Nach der Einführung durch die professionellen Comic-Zeichner waren alle Teilnehmer in der Lage, einen Comic zu gestalten und nach vier Stunden ein Ergebnis zu präsentieren.

7.4 SCIENCE CAFÉ MÜNCHEN

16.06.2015, 18:00 bis 20:00 Uhr; München, münchener zukunftssalon

Beteiligte:

Wissenschaftlicher Input, Moderation: Armin Grunwald; Story-Teller: Wolfgang C. Goede; Ko-Moderation: Marc-Denis Weitze; Gastgeber: Manuel Schneider/münchener zukunftssalon; circa 15 Teilnehmer

Zielgruppe:

interessierte Öffentlichkeit

Ziel:

Input von interessierten Laien in der Diskussion sammeln

Auf einen Impulsvortrag zu Energiewende und Technikzukünfte folgte die Präsentation des Themas „Künstliche Fotosynthese“ mit Rückfragen. Dann wurden drei Geschichten zu den einzelnen Technikzukünften erzählt.¹⁰⁴ Anschließend wurden Kommentare, Chancen und Risiken zu den einzelnen Technikzukünften diskutiert.

¹⁰⁰ <http://www.acatech.de/typo3temp/pics/523acbbc9c.jpg>.

¹⁰¹ <http://www.acatech.de/typo3temp/pics/fc32d8522a.jpg>.

¹⁰² <http://www.acatech.de/typo3temp/pics/bca325c0b9.jpg>.

¹⁰³ <http://www.acatech.de/typo3temp/pics/e458bec2ab.jpg>.

¹⁰⁴ Die Geschichten von und mit Wolfgang Goede sind als Videos online abzurufen unter www.acatech.de/fotosynthese, Menüpunkt „Science Café“.

Es wurde ein weiteres Mal deutlich, dass die Technikzukünfte möglichst einfach erklärt werden sollten, um in die Diskussion zu kommen. Mit der Veranstaltung konnten Interesse und Neugier der Teilnehmerinnen und Teilnehmer am Thema geweckt werden. Insbesondere die Möglichkeit einer direkten Fragestellung wurde positiv bewertet. Es wurden Information und ein Follow-Up gewünscht.

Das Story Telling erwies sich als geeigneter komplementärer Zugang zu den Technikzukünften. Es konnte die Diskussion anregen, ohne dass die Diskussion beliebig wurde (angesichts „wolkiger“ Storys) oder sich in fiktiven Details verding.

Diskussionspunkte, „neue“ Aspekte, offene Fragen

Allgemein:

- Liegen die Probleme wirklich in der Technik oder nicht vielmehr auf der gesellschaftlichen Seite?
- Warum Künstliche Fotosynthese, wenn es schon Technik (zum Beispiel Fotovoltaik wie in den Plänen von Desertec) gibt, die „nur“ an politischen Problemen scheitern? Sollte der Fokus dann nicht auf die Lösung der politischen Probleme gelegt werden?
- Ist Künstliche Fotosynthese nicht ein Symptom für den „Drang des Abwartens“? Ist das Reden über Technikzukünfte nicht mehr als eine Ausrede, schon jetzt zu handeln?
- Wo liegen die Kontroversen?
- Technikfolgenabschätzung beziehungsweise Chancen/Risiken-Aufstellung sollten Fachleute machen; die Öffentlichkeit sollte dann in die Diskussion um Abwägungsfragen einbezogen werden.
- Die acatech Projektgruppe hatte einen starken Schwerpunkt auf Chemie/Biotechnologie (gegenüber anderen Technikwissenschaften und Kommunikation).

Technikzukunft 1 (Algen-Biotechnologie):

- Algen sind unanschaulich, schwer „fassbar“, in Europa kulturell bedingt, eher negative Assoziationen, zum Beispiel „grüner Schleim“, Algenblüte, unkontrollierte Ausbreitung
- Keine Flächenkonkurrenz, wenn Produktion auf/im Meer

- Verfahrenstechnische Probleme bei Produktisolierung: Wasserentfernen energieintensiv
- Wie viel Dünger wird benötigt, was bedeutet das für die Bilanzierung?

Technikzukunft 2 (Industrieabgase):

- End-of-Pipe-Denken: Fossile Energieträger werden dennoch verbraucht, Wachstumsökonomie geht weiter; kann allenfalls ein Zwischenschritt sein: Die Problematik der fossilen Energieträger bleibt.
- Große Flächen benötigt, um erforderliche Sonnenenergie zu sammeln?
- Freisetzung des CO₂ erfolgt am Ende dennoch, der Kohlenstoff wird immerhin „zweimal genutzt“.

Technikzukunft 3 (alternative Fotovoltaik):

- Stabilität gegenüber biologischen Einflüssen (zum Beispiel Vögel)
- Fotovoltaik auf Dächern hat gezeigt, wie persönlicher Vorteil zu Verbreitung einer Technologie beitragen kann
- Alternative Fotovoltaik als „Künstliche Fotosynthese“: bio-inspirierte direkte Umwandlung von Sonnenlicht; Grätzel-Zelle-Farbstoffmoleküle mit Bezug zu Lichtsammelkomplexen
- Der Bezug von Solarzellen zur Künstlichen Fotosynthese blieb zunächst unklar.

7.5 SCIENCE CAFÉ TEGERNSEE

04.07.2015, 16:00 bis 19:00 Uhr; Tegernsee, Westerhof-Café

Kooperation Wissenschaftstage Tegernsee

Beteiligte:

Wissenschaftlicher Input: Alfred Pühler; Moderation: Rüdiger Goldschmidt/Universität Stuttgart; Story-Teller: Wolfgang C. Goede; circa zehn Teilnehmer

Zielgruppe:

interessierte Öffentlichkeit (hier: Interessierte aus dem Umfeld eines regionalen Wissenschaftsfestivals)

Ziel:

Input von interessierten Laien in der Diskussion sammeln

Nach einer Präsentation des Themas „Künstliche Fotosynthese“ mit Rückfragen wurden – wie im Science Café München – drei Geschichten zu den einzelnen Technikzukünften erzählt. Nach einem informellen Austausch fand eine Diskussion zu Chancen und Risiken statt. Zusätzlich wurden offene Fragen an Wissenschaft und Politik formuliert.

Die Diskussionen in der Gruppe lieferten einen Eindruck zu Meinungen und Argumenten sowie Fragen, die in einen solchen Diskurs eingebracht werden. Die Veranstaltung lieferte den erwünschten Einblick in Meinungen und Positionen

Diskussionspunkte, „neue“ Aspekte, offene Fragen

Technikzukunft 1 (Algen-Biotechnologie):

- Welche Dimensionen? Flächen, Ertrag; Realisierbarkeit von Großsystemen
- Ökologische Auswirkung, offene/geschlossene Systeme
- Was ist das Neue gegenüber aktueller Biomasse-aus-Algen-Entwicklung?

Technikzukunft 2 (Industrieabgase):

- CO₂-Nutzung wird sehr positiv gesehen, aber ist es ein „Nullsummenspiel“? Nach Verbrennung der durch Künstliche Fotosynthese hergestellten Treibstoffe gelangt CO₂ wieder in die Atmosphäre
- Inwieweit sind neben Wasser und CO₂ Dünger und weitere Hilfsstoffe erforderlich?
- Welche Produkte werden gewünscht, sind sinnvoll möglich?
- Trennung der Produkte in Sauerstoff und Kohlenwasserstoffe

Technikzukunft 3 (alternative Fotovoltaik):

- Vergleich der Ökobilanz von Silizium-Fotovoltaik mit der alternativen Fotovoltaik: Herstellung (Energiekosten),

Handhabung, Entsorgung (Sondermüll?)

- Vorteil alternative Fotovoltaik: Gebäudeintegration leichter (zum Beispiel Farbe, Materialien; kein senkrechter Lichteinfall notwendig, weil viel mehr Flächen verfügbar)
- Besonders interessant bei Neubauten, neuen Städten

Allgemein:

- Der Begriff „Künstliche Fotosynthese“ legt ein biochemisches System nahe, das an Natur orientiert ist.

Wünsche an die Politik:

- Entwicklung eines klaren Zielbildes (Nutzung fossiler Rohstoffe, Autonomie/dezentrale Energiewandlung, Versorgungssicherheit)
- Realisierbarkeit Neuer Energietechnologien (Finanzierung, Energiemix, Entscheidungssicherheit, Akzeptanz, Chancen/Risiko-Diskussion)

Fragen an die Wissenschaft:

- Benchmark: Was wäre quantitativ mit heutigen Technologien möglich (zum Beispiel Algen-Biotechnologie, Fotovoltaik-Fläche für weltweiten Strombedarf ...)?

von Bürgerinnen und Bürgern zu den vorgestellten Technikzukünften und erarbeitete zusätzlich globalere Ideen zu wichtigen Ausgestaltungsaspekten für Entscheidungssysteme (in Wissenschaft und Politik).

Die Frage nach der Kontinuität der Dialoge kam im Feedback zum Ausdruck. Welche Funktionen soll die weitere Kommunikation übernehmen und auf welche Reichweiten wird abgezielt? Spezifisch nehmen die Teilnehmerinnen und Teilnehmer die Impulse mit und möchten sich weiter mit dem Thema befassen. Einzelne hätten sich noch mehr Information („Vorträge“) gewünscht, andere noch weitere „kreative“ Elemente (neben Story Telling zum Beispiel Theater, Tanz etc.).

7.6 STUDIERENDEN-WORKSHOP

24.07.2015, 11:00 Uhr bis 25.07.2015, 13:00 Uhr; Studienhaus, Gut Schönwag bei Weilheim

Kooperation Institut Technik – Theologie – Naturwissenschaften (TTN)/LMU München

Beteiligte:

Wissenschaftlicher Input: Frank Behrendt, Günter Schmid/Siemens; Moderation: Marc-Denis Weitze, Stephan Schleising/TTN; elf Teilnehmer

Zielgruppe:

Studierende

Ziele:

Input von interessierten Laien sammeln; Reflexion der medialen Darstellung und Forschungskommunikation

Zunächst wurden das Thema „Künstliche Fotosynthese“ vorgestellt und Verständnisfragen geklärt. Anschließend fand eine Gruppenarbeit zu Medienberichten statt. Vorträge zur CO₂-Fixierung, zu Typen der Narration und Forschungskommunikation schlossen sich an (wie lässt sich Grundlagenforschung adäquat kommunizieren, ohne übertriebene Versprechen zu machen?). Eine Gruppenarbeit bestand darin, einen „Forschungsantrag“ zu einer der Technikzukünfte zu konzipieren, wobei Zielkategorien (Wirtschaftlichkeit, Umweltverträglichkeit, Sozialverträglichkeit,

Diskussionspunkte, „neue“ Aspekte, offene Fragen

Technikzukunft 1 (Algen-Biotechnologie):

- Konkretes Potenzial der Algenbiotechnologie?

Technikzukunft 2 (Industrieabgase):

- Katalytische CO₂-Fixierung: um welche Mengen CO₂ geht es?
- Katalytische CO₂-Fixierung: nach stofflicher CO₂-Nutzung wird dieses wieder (durch Verbrennung bei Entsorgung) in Atmosphäre entlassen [immerhin: spart fossile Ressourcen, nutzt das C-Atom „mehrfach“]

Technikzukunft 3 (alternative Fotovoltaik):

- Organische Fotovoltaik wenig stabil: Selbstheilung, Selbstreproduktion als Ausweg?

- Welche Ressourcen braucht organische Fotovoltaik (zum Beispiel Metalle)?

Eine Darstellung der Künstlichen Fotosynthese in den Medien erfolgt bisher nur punktuell und meist orientiert an einzelnen Forschergruppen. Es gibt wenig Kontextualisierung, etwa mit Bezug zur Energiewende.

Die Frage, wie Grundlagenforschung in den Medien oder bei Forschungsanträgen adäquat zu kommunizieren ist (ohne zum Beispiel überhöhte Erwartungen zu erzeugen), betrifft die Ethik der Wissenschaftskommunikation.

Kulturverträglichkeit, Handlungsfähigkeit für unterschiedliche Stakeholder) angesprochen werden sollten.

In einer Gruppenarbeit wurde anhand von einzelnen Zeitungsartikeln die Berichterstattung zur Künstlichen Fotosynthese untersucht. Diese bezieht sich größtenteils auf einzelne Forscher und Forschungsrichtungen. Ebenfalls in Gruppenarbeit wurde zu jeder der drei Technikzukünfte ein „Forschungsantrag“ (Zusammenfassung beziehungsweise Präambel) skizziert, in dem die Relevanz für einzelne Stakeholder dargestellt werden sollte, ohne zu große Versprechen zu machen.

Teilnehmer und Beteiligte fanden „spannende und interdisziplinäre Gespräche und Diskussionen mit vielen Perspektiven“ positiv. Der Eindruck war, dass das Thema „Künstliche Fotosynthese“ sehr relevant, jedoch schwer zu umreißen ist und es (noch) keine ethische Diskussion zu diesem Thema gibt.

7.7 ERGEBNISSE DER DIALOGVERANSTALTUNGEN

Zunächst werden die Dialogveranstaltungen im Lichte der Vision und der Herausforderungen einer frühzeitigen Einbindung der Öffentlichkeit in Technikgestaltung rückblickend beleuchtet. Anschließend werden die konkreten Ergebnisse zusammengefasst.

Herausforderungen – und wie ihnen zu begegnen ist

Mit den Dialogveranstaltungen wurde das Ziel erreicht, Teilöffentlichkeiten – insbesondere interessierte und informierte Personen – in eine Diskussion um Künstliche Fotosynthese zu bringen. Die Technikzukünfte in Form von „Stories“ dienten dazu, wissenschaftliche Erkenntnisse ansprechend und verständlich zu „verpacken“, Fragen aufzuwerfen und Besonderheiten der wissenschaftlichen Darstellung (zum Beispiel Unsicherheiten) zu identifizieren.

Schwierig und aufwendig war es jeweils, Teilnehmer zu gewinnen. Hier kommt es unter anderem darauf an, vorhandene Plattformen zu nutzen, um die Menschen beziehungsweise spezifische Zielgruppen zu erreichen. Da acatech selbst als Akteur wenig bekannt ist, gelang dies teilweise durch Kooperationen (münchener zukunftssalon, Wissenschaftstage Tegernsee, Institut TechnikTheologie-Naturwissenschaften). Generell konnten am ehesten besonders an Naturwissenschaft und Technik Interessierte gewonnen werden. Eine Reflexion dazu, welche Zielgruppe erreicht werden soll (welches Umfeld, homogen oder heterogen), hat sich bewährt. Insgesamt waren die **Teilnehmerzahlen** jeweils an der unteren Planungsgrenze. Da die erschienenen Teilnehmerinnen und Teilnehmer jedoch aktiv und interessiert waren, haben die Formate „funktioniert“. Tatsächlich förderte jede einzelne der Veranstaltungen mit etwas mehr als zehn Teilnehmern mehr und detailliertere Aspekte und Perspektiven zutage als etwa das allererste Science & Technology Café zu diesem Thema mit einhundert Teilnehmerinnen und Teilnehmern.

Das **Collingridge-Dilemma** (siehe Abschnitt 2.2) zeigt sich deutlich in Stimmen, die den Zeitpunkt für eine Einbeziehung der Öffentlichkeit in die Diskussion um Künstliche Fotosynthese für zu früh halten: Das Thema sei weit entfernt (mangelnde Relevanz), es gebe keine Kontroversen. Dagegen konnte sich – ausgehend von den Technikzukünften – durchaus eine Diskussion um Fragestellungen, Ziele und Kriterien der Technikgestaltung für dieses Feld entwickeln.

Um das Interesse am Thema zu wecken und das Thema **darzustellen**, hat sich eine Vielfalt an Formaten bewährt (Ausstellungsbesuch, Story Telling etc.). Insbesondere war gleich zu Beginn deutlich zu machen, was zum Thema „Künstliche Fotosynthese“ gehört (und was nicht). Es ergab sich mit Blick auf die Darstellung der Künstlichen Fotosynthese teilweise das Dilemma, dass je konkreter ein Thema dargestellt wird, die Diskussion umso stärker gelenkt wird. Ebenso mag ein thematisches Framing, das Interesse weckt und die Verständlichkeit fördert, den Rahmen für die Diskussion vorab

festlegen (zum Beispiel Energiewende als gesellschaftliche Herausforderung, technische Details, ...). Ebenso wie die Darstellung und das Framing des Themas der Diskussion einen Rahmen geben, hängt die thematische Akzentuierung und Bewertung (ein Konsens, ein Dissens oder auch die Entwicklung neuer Gesichtspunkte) teilweise von der Darstellung ab.

Die **Technikzukünfte als wesentlicher Bezugspunkt der Diskussion** sollten konkret und verständlich dargestellt, klar zu unterscheiden sein (Wirkprinzip, Produkte, ...) und den Möglichkeitsraum für die Technologie erschließen (hier: für das Thema „Künstliche Fotosynthese“ in seiner ganzen Breite). Ihre Ausformulierung (etwa der Kaskadenüberlegungen) und Darstellung (in Form von Geschichten) fiel mitunter schwer. Deutlich wurde etwa, dass die in der Projektgruppe erarbeiteten Technikzukünfte wesentlich sperriger waren als die Storys des Wissenschaftsjournalisten, die auf ihrer Basis erstellt wurden. Generell war die Balance zwischen Konkretisierung und Offenheit, zwischen realem Forschungsstand und Spekulation nicht immer leicht zu halten. Die Darstellung der Technikzukünfte (vgl. Kapitel 6) war daher recht heterogen – diese Art der „Offenheit“ ist aber vielleicht gerade passend, um eine offene Diskussion um Alternativen zu ermöglichen. Generell wäre zu klären, ob, auf welche Weise und mit welcher Intention in der Diskussion weitere Technikzukünfte erstellt werden sollen.

Im Sinne eines Erwartungsmanagements ist den Teilnehmerinnen und Teilnehmern (einschließlich der beteiligten Wissenschaftler) vorab klar zu vermitteln, dass es sich um eine Dialogveranstaltung handelt, also keine reine Informationsveranstaltung, die gewöhnlich und konventioneller Weise erwartet wird. In diesem Projekt gab es jedoch bewusst noch **keine verbindlichen Festlegungen, was mit den Ergebnissen der Dialogveranstaltungen geschieht**. Im Vordergrund stand die Erhebung dessen, was zu diesem visionären Feld diskutiert wird – nicht, was dann mit diesen Ideen geschieht.

Das Feedback war durchweg positiv: Die Projektgruppe und weitere an der Projektgestaltung Beteiligte hielten die Rückmeldungen der Teilnehmerinnen und Teilnehmer zum Thema für interessant und konkret (neue Aspekte und Perspektiven wurden geäußert) und empfanden die Größe und Zusammensetzung der Gruppen als gut. Teilnehmer gaben in Feedback-Runden an, dass ihr Interesse an Thema geweckt worden sei (soweit es nicht bereits vorher geweckt war) und dass Möglichkeiten und Alternativen ins Bewusstsein gerückt worden sind. Von den Veranstaltungen haben Teilnehmer teilweise anderes erwartet (mehr Information), empfanden es aber auch so als lohnend, insbesondere die intensive „Betreuung“ und die Diskussion im kleinen Kreis mit Experten.

Neue Ideen und Akzente

Wie bei der Darstellung der einzelnen Veranstaltungen dokumentiert, standen jeweils verschiedene Aspekte der Künstlichen Fotosynthese im Blickpunkt der Diskussion. Viele dieser Punkte lassen sich auf einzelne Bereiche der Technikentwicklung beziehen: etwa der Bezug zum „Vorbild Natur“ bei den Herausforderungen und Visionen, verfahrenstechnische Fragen bei Forschung und Entwicklung, Aspekte der Umsetzbarkeit bei Produktion, Nutzung und Entsorgung. Diese Punkte können und sollen an Wissenschaft und Wirtschaft rückgekoppelt werden.

Neben diesen konkreten Beiträgen zur Gestaltung der Künstlichen Fotosynthese oder ihres Kontextes diskutierten die Teilnehmerinnen und Teilnehmer der Veranstaltungen auch das thematische Umfeld (Bezug zu anderen Energiethemen, zu Verbraucherverhalten etc.) und das Projekt selbst mit seiner Methodik (zum Beispiel Rolle der Öffentlichkeit in der Technikfolgenabschätzung, Fokus der acatech Projektgruppe auf chemische und biotechnologische Aspekte, Problematisierung des Begriffs „Künstliche Fotosynthese“).

8 FAZIT

EINE FRÜHZEITIGE EINBINDUNG DER ÖFFENTLICHKEIT IN TECHNIKGESTALTUNG IST HEUTE UNVERZICHTBAR

Viele Argumente sprechen für eine frühzeitige Einbindung der Öffentlichkeit, die wiederum in verschiedenen Bereichen der Technikgestaltung geschehen kann. Von der Formulierung relevanter Herausforderungen und der Diskussion möglicher Chancen und Risiken über den Beitrag spezifischer Wissensbestände bis hin zur Integration von Technik in die Alltagspraxis – eine Einbindung von Akteuren jenseits von Wissenschaft und Wirtschaft kann zu sozial robusten Lösungen führen. Im Rahmen dieses Projekts konnten nur einzelne Formate im Sinne einer Diskussion vorgegebener Technikzukünfte exemplarisch getestet werden. „Frühzeitig“ bedeutet aber tatsächlich, dass von Anfang an, bereits bei der Problemdefinition (wo liegen die Herausforderungen?) und Projektkonzeption (wie lassen sich gemeinsam Lösungsansätze identifizieren?) neben Wissenschaft und Wirtschaft auch andere Akteure beteiligt werden.

DIE DISKUSSION ANHAND VON TECHNIKZUKÜNFTEN HAT SICH BEWÄHRT

Technikzukünfte können Interesse wecken, gesellschaftlich relevante Aspekte eines Themas schon in frühen Forschungsstadien relevant machen und als konkreter Bezugspunkt zum Beispiel für eine Diskussion um Chancen und Risiken dienen. Sie haben mögliche technische Entwicklungen ebenso im Blick wie gesellschaftliche Entwicklungen und können als Alternativen jeweils möglichst konkret beschrieben werden. Sie sollten gemeinsam mit Akteuren jenseits von Wissenschaft und Wirtschaft nicht nur bewertet, sondern bereits erstellt und dargestellt

werden, wobei die Auswahl und „Gewichtung“ der Technikzukünfte im Projektverlauf nicht zu stark festgelegt sein sollte, sondern im Verlauf der Diskussion um ihre Bewertung noch formbar bleiben sollte.

ALLGEMEINE HERAUSFORDERUNGEN DER WISSENSCHAFTSKOMMUNIKATION SIND ZU BEACHTEN

Ziele und Zielgruppen sind in der Wissenschaftskommunikation zu definieren und zu reflektieren – dies wurde auch in den Dialogformaten dieses Projekts deutlich. Insbesondere sind Ziele der frühzeitigen Einbindung der Öffentlichkeit von vorneherein andere, als Information zu vermitteln oder Aufmerksamkeit zu schaffen. Zumal bei komplexen, visionären Themen muss Interesse erst geweckt und Relevanz dargestellt werden. Die Art der Darstellung beeinflusst die Wahrnehmung und Bewertung im Sinne eines Framing, etwa wenn Geschichten erzählt oder Sachverhalte visualisiert werden. Solche Effekte sind für Teilnehmerinnen und Teilnehmer transparent zu machen, ebenso Ziele und Wirkung der Kommunikation.

NEUE FORMATE SIND ZU ENTDECKEN UND ZU TESTEN

Kreativität ist gefragt, um die Vielfalt der Formate als Zugänge der Wissenschaftskommunikation zu nutzen. Formate wie zum Beispiel Comic, Narration, Spiele, Science & Art sind jeweils im Einzelnen zu definieren, in ihren Abgrenzungen und Anwendungstärken weiterzuentwickeln und zu evaluieren. Auch Formate, die nur wenige direkt erreichen, können ein adäquater Zugang sein, wenn diese an Ziele und Zielgruppen angepasst sind.

DIE ROLLE DER MEDIEN IST ZU UNTERSUCHEN

Nicht thematisiert wurde in diesem Projekt, „wie die Medien die Technikzukünfte verarbeiten, die seitens der Wissenschafts- und Technikakteure bereitgestellt werden“¹⁰⁵. Beispiele wie Nano- und Gentechnologie zeigen, dass massenmediale Berichterstattung eng mit Technikzukünften verbunden ist. Dabei werden diese von den Medien nicht selbst erzeugt, sondern übernommen von Wissenschaftlern, Managern, aber auch zivilgesellschaftlichen Autoren. „Die Macht der Medien in diesem Feld liegt in der Selektion: Welche Technikzukünfte werden überhaupt rezipiert, in welche Kontexte werden sie gestellt, wie werden sie weitergegeben und wie werden sie bewertet?“¹⁰⁶

Für die Künstliche Fotosynthese ist die Darstellung in den Medien (unter anderem Print, soziale Medien) zu untersuchen und zu begleiten.

DIE FRÜHZEITIGE EINBINDUNG DER ÖFFENTLICHKEIT AUF WEITERE TECHNIKFELDER IST ANGEZEIGT

Künstliche Fotosynthese wurde hier als ein exemplarisches Technikfeld betrachtet, das mit großen Erwartungen verknüpft ist, sich aber noch weitgehend im Forschungsstadium befindet. Ansätze einer frühzeitigen Einbindung der Öffentlichkeit, wie sie getestet wurden, können systematisch auf andere Technikfelder angewendet werden. Damit lassen sich dann spezifische „kritische Punkte“ und jeweilige Bedingungen der Akzeptanz ausloten.

Erste Erfahrungen sind in Projekten wie diesem gesammelt worden, nun sind weitere Experimente in der Wissenschafts- und Technikkommunikation durchzuführen. Es wird nie ein Patentrezept der Technikgestaltung geben – aber mit weiteren Experimenten der frühzeitigen Einbindung können Erfolgsfaktoren gesammelt und gleichzeitig weitere Technikfelder gemeinsam gestaltet werden.

¹⁰⁵ acatech 2012b, S. 44.

¹⁰⁶ acatech 2012b, S. 47.

LITERATUR

acatech 2011

acatech (Hrsg.): *Akzeptanz von Technik und Infrastrukturen. Anmerkungen zu einem aktuellen Gesellschaftlichen Problem* (acatech POSITION), Heidelberg u. a.: Springer-Verlag 2011.

acatech 2012a

acatech (Hrsg.): *Perspektiven der Biotechnologie-Kommunikation. Kontroversen – Randbedingungen – Formate* (acatech POSITION), Springer Vieweg 2012.

acatech 2012b

acatech (Hrsg.): *Technikzukünfte. Vorausdenken – Erstellen – Bewerten* (acatech IMPULS), Heidelberg u.a.: Springer-Verlag 2012.

acatech 2012c

acatech (Hrsg.): *Biotechnologische Energieumwandlung in Deutschland. Stand, Kontext, Perspektiven* (acatech POSITION), Heidelberg u. a.: Springer-Verlag 2012.

Anderson et al. 2013

Anderson, A. A./Kim, J./Scheufele, D. A./Brossard, D./Xenos, M. A.: „What’s in a name? How we define nanotech shapes public reactions“. In: *Journal of Nanoparticle Research*, 15: 2, 2013, S. 1-5.

ASU 2015

ASU (Arizona State University): *Future Tense. The citizen’s guide to the future*. URL: <https://futuretense.asu.edu/> [Stand: 02.11.2015].

BDEW 2015

BDEW (Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V.): *Erneuerbare Energien und das EEG: Zahlen, Fakten, Grafiken*, 2015. URL: [https://www.bdew.de/internet.nsf/id/20150511-o-energie-info-erneuerbare-energien-und-das-ee-g-zahlen-fakten-grafiken-2015-de/\\$file/Energie-Info_Erneuerbare_Energien_und_das_EEG_2015_11.05.2015_final.pdf](https://www.bdew.de/internet.nsf/id/20150511-o-energie-info-erneuerbare-energien-und-das-ee-g-zahlen-fakten-grafiken-2015-de/$file/Energie-Info_Erneuerbare_Energien_und_das_EEG_2015_11.05.2015_final.pdf) [Stand: 02.11.2015].

BDI 2015

BDI (Bundesverband der Deutschen Industrie e.V.) (Hrsg.): *Zukunft durch Industrie. Den Wandel als Chance begreifen – Herausforderungen und Implikationen*, 2015. URL: http://www.bdi.eu/download_content/ForschungTechnikUndInnovation/Zukunft_durch_Industrie.pdf [Stand: 02.11.2015].

BiosolarCells 2015

BiosolarCells: *Science, society and art*. URL: <http://www.biosolarcells.nl/en/onderzoek/maatschappelijke-aspecten/> [Stand: 02.11.2015].

Biosolart 2015

Biosolart: *Making a field of interpretation for BioSolar Cells*. URL: <http://biosolart.eu/> [Stand: 02.11.2015].

BMBF 2014

BMBF (Bundesministerium für Bildung und Forschung): *Die neue Hightech-Strategie. Innovationen für Deutschland*, 2014. URL: http://www.bmbf.de/pub_hts/HTS_Broschure_Web.pdf [Stand: 02.11.2015].

Bogner 2010

Bogner A.: „Partizipation als Laborexperiment – Paradoxien der Laiendeliberation in Technikfragen.“ In: *Zeitschrift für Soziologie*, 39:2, 2010, S. 87-105.

BUND 2012

BUND (Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e.V.) (Hrsg.): *Nachhaltige Wissenschaft. Plädoyer für eine Wissenschaft für und mit der Gesellschaft*. (Diskussionspapier), 2012. URL: http://www.bund.net/fileadmin/bund-net/publikationen/nachhaltigkeit/20110202_nachhaltigkeit_wissenschaft_diskussion.pdf [Stand: 02.11.2015].

DECHEMA 2015

DECHEMA, Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e.V.: *Energiespeicher für die Energiewende: Koordinierungskreis „Chemische Energieforschung“ informiert mit Positionspapier*, 2015. URL: http://www.dechema.de/08_2015_d.html [Stand: 02.11.2015].

Deutsches Museum 2015

Deutsches Museum: *Auf dem Weg ins Anthropozän. 30 Meilensteine auf dem Weg in ein neues Erdzeitalter*. URL: <http://www.deutsches-museum.de/ausstellungen/sonderausstellungen/anthropozan/comics/> [Stand: 02.11.2015].

Einsiedel 2008

Einsiedel, E. F.: „Public Participation and dialogue“. In: *Handbook of Public Communication of Science and Technology*, 2008, S. 173–184.

European Commission 2015

European Commission: *Responsible research & innovation*. URL: <http://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en/h2020-section/responsible-research-innovation> [Stand: 02.11.2015].

Finke 2014

Finke, P.: *Citizen Science. Das unterschätzte Wissen der Laien*, München: oekom verlag 2014.

Forschungs- und Technologierat Bioökonomie 2012

Forschungs- und Technologierat Bioökonomie (BÖR) (Hrsg.): *Weiterentwicklung des Förderinstrumentariums von öffentlicher und privater Forschung im Hinblick auf die Anforderungen der Bioökonomie. Empfehlungen des BioökonomieRats*, 2012. URL: http://www.biooekonomierat.de/fileadmin/templates/publikationen/empfehlungen/boer_broschue-re_forschungsoerderung.pdf [Stand: 02.11.2015].

Fraunhofer 2014

Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE (Hrsg.): *Jahresbericht 2013/14*, 2014. URL: www.ise.fraunhofer.de/de/veroeffentlichungen/veroeffentlichungen-pdf-dateien/infomaterial/jahresberichte/fraunhofer-ise-jahresbericht-2013-14.pdf [Stand: 02.11.2015].

Gloede 1994

Gloede, F.: „Technikpolitik, Technikfolgen-Abschätzung und Partizipation“. In: Bechmann, G./Petermann, Th. (Hrsg.): *Interdisziplinäre Technikforschung. Genese, Folgen, Diskurs*, Frankfurt: Campus 1994, S. 147–182. (Veröffentlichungen der Abteilung für Angewandte Systemanalyse (AFAS), Bd.2).

Goede 2005

Goede, W.: „Die Erzählform“. In: *Fachjournalist 21*, 2005, S. 4–6.

Grunwald 2010

Grunwald, A.: *Technikfolgenabschätzung – eine Einführung*. 2. Auflage, Berlin: edition sigma 2010.

Grunwald 2015

Grunwald, A.: „Fünfzehn Jahre Ethik zur Nanotechnologie – was wurde bewirkt?“ In: Mahring, M. (Hrsg.): *Vom Praktisch-Werden der Ethik in interdisziplinärer Sicht: Ansätze und Beispiele der Institutionalisierung, Konkretisierung und Implementierung der Ethik*, Karlsruhe: KIT Scientific Publishing 2015, S. 281–297. (Schriftenreihe des Zentrums für Technik- und Wirtschaftsethik Bd. 7).

Hennen et al. 2004

Hennen, L./Petermann, Th./Scherz, C.: *Partizipative Verfahren der Technikfolgen-Abschätzung und parlamentarische Politikberatung. Neue Formen der Kommunikation zwischen Wissenschaft, Politik und Öffentlichkeit*, Berlin: Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB) 2004.

House of Lords 2000

House of Lords: *Science and Society*. 3rd Report, London: Science and Technology Committee Publications, 2000.

Janoff/Weisbord 2015

Janoff, S./Weisbord, M.: *Future Search Network*. URL: <http://www.futuresearch.net/> [Stand: 02.11.2015].

Jungk/Müllert 1989

Jungk, R./Müllert, N. R.: *Zukunftswerkstätten. Mit Phantasie gegen Routine und Resignation*, München: Heyne Verlag, 1989.

Kaiser et al. 2014

Kaiser, S./Rehberg, M./Schraudner, M.: „Shaping Future: Nachhaltige Technologiegestaltung durch Partizipation“. In: *APuZ*, 31-32, 2014, S. 28-34.

Leshner 2003

Leshner, A. I.: „Public engagement with science“. In: *Science*, 299: 5609, 2003, S. 977.

Lin et al. 2015

Lin, S.-F./Lin, H.-s./Lee, L./Yore, L. D.: „Are Science Comics a Good Medium for Science Communication? The Case for Public Learning of Nanotechnology“. In: *International Journal of Science Education*, Part B: Communication and Public Engagement, 5: 3, 2015, S. 276-294.

Mc Ewan 2010

McEwan, I.: *Solar*. Jonathan Cape 2010.

Michel 2008

Michel, H.: „Die natürliche Photosynthese: Ihre Effizienz und die Konsequenzen“. In: Gruss/Schüth: *Die Zukunft der Energie*. Beck-Verlag 2008, S. 71-85.

Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kunst Baden-Württemberg 2013

Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kunst Baden-Württemberg (MWK): *Wissenschaft für Nachhaltigkeit. Herausforderung und Chance für das baden-württembergische Wissenschaftssystem*, 2013. URL: https://mwk.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-mwk/intern/dateien/pdf/Wissenschaft_f%C3%BCr_Nachhaltigkeit/Expertenbericht_RZ_MWK_Broschuere_Nachhaltigkeit_Web.pdf [Stand: 02.11.2015].

Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kunst Baden-Württemberg 2015

Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kunst Baden-Württemberg (MWK): *Reallabore*. URL: <https://mwk.baden-wuerttemberg.de/de/forschung/forschungspolitik/wissenschaft-fuer-nachhaltigkeit/reallabore/> [Stand: 02.11.2015].

National Academy of Engineering 2015

National Academy of Engineering: *Grand Challenges – Make Solar Energy Economical*. URL: <http://www.engineeringchallenges.org/challenges/solar.aspx> [Stand: 02.11.2015].

Nature 2004

„Going Public“ (Editorial). In: *Nature*, 431:7001, 2004, S. 883.

Nowotny et al. 2001

Nowotny H./Scott P./Gibbons M.: *Rethinking science. Knowledge in an age of uncertainty*, Cambridge: Polity Press 2001.

Opielka et al. 2014

Opielka, M./Oertel, B./Evers-Wölk, M./Henseling, C.: „Dialogprozesse und Diskursanalysen“. In: *TAB Brief*, 43, 2014, S. 10.

Rowe/Frewer 2005

Rowe, G./Frewer, L. J.: „A typology of public engagement mechanisms“. In: *Science Technology & Human Values*, 30: 2, 2005, S. 251–290.

Scheufele 2011

Scheufele, D. A.: „Modern Citizenship or Policy Dead End? Evaluating the need for public participation in science policy making, and why public meetings may not be the answer“. In: Joan ShoresteinCenter on the Press, *Politics and Public Policy Research Paper Series*, #R-34, 2011. URL: shorenstein-center.org/wp-content/uploads/2012/03/r34_scheufele.pdf [Stand: 02.11.2015].

Schirmacher 2010

Schirmacher, F.: „Der Traum, aus dem die Stoffe sind“. In: *Frankfurter Allgemeine Zeitung* vom 17.10.2000.

Selke 2015

Selke, S.: „Öffentliche Gesellschaftswissenschaften: Von der Kommunikation zum Dialog“. In: SchaderStiftung (Hrsg.): *Öffentliche Wissenschaft*. Dokumentation der Tagung am 19. und 20. März 2015, S. 10–14. URL: https://www.schaderstiftung.de/uploads/tx_schaderstiftung/Dokumentation_OEfoeffentliche_Wissenschaft.pdf [Stand: 02.11.2015].

Tait 2009

Tait, J.: „Upstream engagement and the governance of science“. In: *Embo Reports*, 10: S1, 2009, S. 18–22.

VDI 2014

VDI (Verein Deutscher Ingenieure): Richtlinienreihe VDI 7001: *Kommunikation und Öffentlichkeitsbeteiligung bei Planung und Bau von Infrastrukturprojekten*, 2014. URL: <https://www.vdi.de/technik/fachthemen/bauen-und-gebaeudetechnik/fachbereiche/bautechnik/richtlinien/%20richtlinienreihe-vdi-7001-kommunikation-und-oeffentlichkeitsbeteiligung-bei-planung-und-bau-von-infrastrukturprojekten/> [Stand: 02.11.2015].

Weitze/Heckl 2016

Weitze, M.-D., Heckl, W. M.: *Wissenschaftskommunikation – Schlüsselideen, Akteure, Fallbeispiele*. Springer-Verlag 2016.

WiD 2011

WiD (Wissenschaft im Dialog): *Forschungsprojekt „Wissenschaft debattieren!“*. *mitdenken. mitreden. mitgestalten*. (Abschlussbericht), 2011. URL: http://www.wissenschaftdebattieren.de/fileadmin/redakteure/dokumente/Wissenschaft_debattieren/Abschlussbericht-Finalweb.pdf [Stand: 02.11.2015].

Wissenschaftsrat 2015

Wissenschaftsrat: *Zum wissenschaftspolitischen Diskurs über Große gesellschaftliche Herausforderungen*. Positionspapier, 2015. URL: <http://www.wissenschaftsrat.de/download/archiv/4594-15.pdf> [Stand: 02.11.2015].

ANHANG: WORKSHOP-PROGRAMME

WORKSHOP „ARTIFICIAL PHOTOSYNTHESIS: PROMISING APPROACHES, STRIKING HURDLES“

München, 4. Februar 2014

Panel I: <i>Artificial Photosynthesis – Status and Strategies</i>	Moderator: Alfred Pühler (Universität Bielefeld)
Learning from Nature: Design of catalysts for water splitting and hydrogen production/conversion	Wolfgang Lubitz (MPI CEC)
Mechanisms of Artificial Photosynthesis	Leif Hammarstroem (Universitet Uppsala)
Responsive Matrices for Solar Fuel	Huib De Groot (Leiden University)
Panel II: <i>Inspirations from Natural Photosynthesis</i>	Moderator: Wolfgang Lubitz (MPI CEC)
Efficiency of natural photosynthesis	Hartmut Michel (MPI of Biophysics)
Biogenesis of methane	Rudolf K. Thauer (MPI for Terrestrial Microbiology)
Carbon Nitride Catalysis for Light-to-Chemical Conversion	Markus Antonietti (MPI of Colloids and Interfaces)
Panel III: <i>Current Research in Artificial Photosynthesis</i>	Moderator: Hartwig Höcker (RWTH Aachen)
Photocatalytic Generation of Chemical Energy Carriers from Light and Water	Henrik Junge (Leibniz Institute for Catalysis)
Solar Water Splitting with Iron Oxide Photoanodes and Cuprous Oxide Photocathodes	David Tilley (EPFL Lausanne)
Organic solar cells	Uli Würfel (Fraunhofer ISE)
Final Discussion	Moderator: Alfred Pühler (Universität Bielefeld)

WORKSHOP „KÜNSTLICHE FOTOSYNTHESE – TECHNIKZUKÜNFTEN“

Berlin, 30. Oktober 2014

1. Begrüßung (A. Pühler, A. Grunwald)
2. Projektstand (A. Pühler)
3. Technikzukünfte: Vorstellung (je 15 Minuten) und Diskussion (je 15 Minuten)
 - a) Rahmenerzählung (M.-D. Weitze, A. Pühler)
 - b) Effiziente Fotosynthese mit maßgeschneiderten Einzellern (H. de Groot, O. Kruse)
 - c) Photo-Elektrochemie (M. Fleischer, G. Schmid, J. Busse, S. Hoch)
 - d) Molekulare Katalyse, bioinspiriert (W. Lubitz)
 - e) Alternative Photovoltaik
4. Impulse
 - a) Rüdiger Goldschmidt: Dialog- und Beteiligungsformate
 - b) Alexander Bogner: Frühe Einbindung der Öffentlichkeit bei Neuen Technologien
 - c) Huub de Groot: „Science, society and art“ at Biosolar Cells
5. Entwicklung und Diskussion von Dialogformaten, mit denen Technikzukünfte bewertet werden sollen; Zielgruppen (A. Grunwald)
6. Nächste Schritte (A. Pühler, A. Grunwald)

> acatech – DEUTSCHE AKADEMIE DER TECHNIKWISSENSCHAFTEN

acatech vertritt die deutschen Technikwissenschaften im In und Ausland in selbstbestimmter, unabhängiger und gemeinwohlorientierter Weise. Als Arbeitsakademie berät acatech Politik und Gesellschaft in technikwissenschaftlichen und technologiepolitischen Zukunftsfragen. Darüber hinaus hat es sich acatech zum Ziel gesetzt, den Wissenstransfer zwischen Wissenschaft und Wirtschaft zu unterstützen und den technikwissenschaftlichen Nachwuchs zu fördern. Zu den Mitgliedern der Akademie zählen herausragende Wissenschaftler aus Hochschulen, Forschungseinrichtungen und Unternehmen. acatech finanziert sich durch eine institutionelle Förderung von Bund und Ländern sowie durch Spenden und projektbezogene Drittmittel. Um den Diskurs über technischen Fortschritt in Deutschland zu fördern und das Potenzial zukunftsweisender Technologien für Wirtschaft und Gesellschaft darzustellen, veranstaltet acatech Symposien, Foren, Podiumsdiskussionen und Workshops. Mit Studien, Empfehlungen und Stellungnahmen wendet sich acatech an die Öffentlichkeit. acatech besteht aus drei Organen: Die Mitglieder der Akademie sind in der Mitgliederversammlung organisiert; das Präsidium, das von den Mitgliedern und Senatoren der Akademie bestimmt wird, lenkt die Arbeit; ein Senat mit namhaften Persönlichkeiten vor allem aus der Industrie, aus der Wissenschaft und aus der Politik berät acatech in Fragen der strategischen Ausrichtung und sorgt für den Austausch mit der Wirtschaft und anderen Wissenschaftsorganisationen in Deutschland. Die Geschäftsstelle von acatech befindet sich in München; zudem ist acatech mit einem Hauptstadtbüro in Berlin und einem Büro in Brüssel vertreten.

Weitere Informationen unter www.acatech.de