



INSTITUT FÜR
TECHNIKFOLGEN
ABSCHÄTZUNG

Emergierende Technowissenschaften

Am Beispiel von Systembiologie und Synthetischer Biologie

ÖAW
ÖSTERREICHISCHE
AKADEMIE DER
WISSENSCHAFTEN

MANU:SCRIPTS

www.oeaw.ac.at/ita

Wien, Mai/2020
ITA-20-01
ISSN: 1681-9187

Emergierende Technowissenschaften

Am Beispiel von Systembiologie und Synthetischer
Biologie

Karen Kastenhofer

Keywords

newly emerging technosciences, systems biology, synthetic biology, techno-epistemic cultures, technoscience assessment

Technowissenschaft, Systembiologie, Synthetische Biologie, techno-epistemische Kulturen, technoscience assessment

Abstract

Systems and synthetic biology can be understood as newly emerging technosciences. Both constitute phenomena shaped by promises and visions, a certain logic and function of labeling, specific forms of social organisation, an embedding in specific regimes of funding and innovation as well as a characteristic matrix of orientations within research practice. This general characterisation of systems and synthetic biology has fundamental consequences for scientific practice, its analysis and its governance.

Kurzfassung

Systembiologie und Synthetische Biologie können als Beispiele emergierender Technowissenschaft verstanden werden. Sie sind wesentlich geprägt durch Zukunftsversprechungen und Visionen, eine bestimmte Logik der Namensgebung und -verwendung, bestimmte Formen sozialer Organisation, die Einbettung in ein bestimmtes Förder- und Innovationsregime sowie eine charakteristische Matrix an Handlungsorientierungen in der Forschungspraxis. Diese spezifische Konstitution von Forschung hat ihrerseits Konsequenzen für Wissenschaftsforschung, Wissenschaft und Wissenschaftspolitik.

Inhalt

1	Einleitung.....	3
2	„What’s in a name?“ Systembiologie und Synthetische Biologie als Begriffe	5
3	Forschungsfeld oder Förderfeld? Systembiologie und Synthetische Biologie als Labels	7
4	Synthetische Biologie und Systembiologie als „Gemeinschaften ohne Mitglieder“	10
5	Systembiologie und Synthetische Biologie als „Disziplinen auf Zeit“	12
6	Systembiologie und Synthetische Biologie als Funktionswissenschaften	13
7	Zusammenfassung und Diskussion: die stille Revolution der revolutionären Technowissenschaften	17
8	Literatur	18

Diese Publikation entstand im Rahmen des Projektes „(Techno)epistemic cultures in 21st century life sciences“, gefördert durch den österreichischen Wissenschaftsfonds FWF (Elise Richter Projekt V-383, 1.10.2014-30.9.2019).

Eine frühere Version dieses Textes ist in spanischer Sprache als peer-reviewter Zeitschriftenartikel erschienen: Kastenhofer, K. (2016). *Biología de sistemas y biología sintética como tecnociencias emergentes/Systems and synthetic biology as emerging technosciences*, *Isegoría* 55, 529-550. Diese leicht überarbeitete Version soll den Inhalt auch einem deutschsprachigen Publikum zugänglich machen.

IMPRESSUM

Medieninhaber:

Österreichische Akademie der Wissenschaften
Juristische Person öffentlichen Rechts (BGBl 569/1921 idF BGBl I 31/2018)
Dr. Ignaz Seipel-Platz 2, A-1010 Wien

Herausgeber:

Institut für Technikfolgen-Abschätzung (ITA)
Apostelgasse 23, A-1030 Wien
www.oeaw.ac.at/ita

Die ITA-manu:scripts erscheinen unregelmäßig und dienen der Veröffentlichung von Arbeitspapieren und Vorträgen von Institutsangehörigen und Gästen.

Die manu:scripts werden ausschließlich über das Internetportal „epub.oeaw“ der Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt:

epub.oeaw.ac.at/ita/ita-manuscript

ITA-manu:script Nr.: ITA-20-01 (Mai/2020)
ISSN-online: 1818-6556
http://epub.oeaw.ac.at/ita/ita-manuscript/ita_20_01.pdf

© 2020 ITA – Alle Rechte vorbehalten



Dieser Bericht unterliegt der Creative Commons Attribution 4.0 International License:
creativecommons.org/licenses/by/4.0/

1 Einleitung

Systembiologie und Synthetische Biologie¹ repräsentieren Forschungsfelder, deren Etablierung in ihrer aktuellen Form sich um die letzte Jahrtausendwende verorten lässt. In vieler Hinsicht können sie als Repräsentanten einer spezifischen Art Wissenschaft zu betreiben verstanden werden, die hier unter die Kategorie „emergierende Technowissenschaften“ gefasst werden soll. Die Charakterisierung als „emergierend“ deutet auf eine gewisse Prozesshaftigkeit hin: In der Darstellung der beiden Felder geht es immer auch um eine zeitliche Komponente, ein „noch nicht“, um Visionen, handlungsleitende Paradigmen und Versprechungen, um die Einstufung als „noch junge“ Forschungsfelder oder Disziplinen. Zu den spezifischen Charakteristika der Technowissenschaften zählen zudem eine bestimmte Logik der Namensgebung, eine relative Entkoppelung von Label und sozialer Organisation, die Einbettung in ein bestimmtes Förderregime und eine breitere Big Science Entwicklung in den Lebenswissenschaften (Großprojekte als Organisationsprinzip, Multidisziplinarität, technik- und datengetriebener Forschungsalltag, s. auch Vermeulen 2009, Vermeulen et al. 2010). An diese Besonderheiten knüpft sich auch eine Neujustierung der „primären Handlungsorientierung“ in der Forschungspraxis (von „wissenschaftlichem Wissen“ auf „technisches Können“, Kastenhofer 2013a) wie auch eine Neujustierung der gesellschaftlichen Funktionszuweisung im wissenschaftspolitischen Diskurs.

Kurz, was heute unter dem Stichwort Forschung betrieben wird, ist (erneut) erklärungsbedürftig geworden – insbesondere in Feldern wie Systembiologie und Synthetischer Biologie, die als Neugründungen dezidiert für neue Forschungsparadigmen stehen und dementsprechend leicht(er) – vielleicht auch explizit(er) – Ballast alter Traditionen abwerfen können (oder abzuwerfen vorgeben).² Dies gilt sowohl für inner- als auch außerwissenschaftliche Kontexte. Die Realisierung von Wissenschaft und ihrem Verhältnis zu Gesellschaft kann nicht mehr problemlos expliziten Regeln oder impliziten Gewohnheiten folgen. Dies spiegelt sich auch in einem diffusen Unwohlsein in allen Bereichen (Wissenschaft, Wissenschaftspolitik, mediale Öffentlichkeit), das sich in herkömmlichen Argumentationsrahmen wie etwa der klassischen Kritik und Regulierungsaufforderung von Forschung als riskant oder unethisch nicht ausreichend fassen lässt und in gegenwärtigen Bestrebungen, wie etwa der nachgeraden Partizipationsepidemie auf nationaler und internationaler Ebene, nur scheinbar aufgefangen wird. Nicht zuletzt mündet es

¹ Die Definition dieser beiden Felder wird später noch Thema sein; zum Einstieg hier eine verkürzte Darstellung: unter Systembiologie wird gegenwärtig die computer-, wie laborgestützte Modellierung biologischer Objekte auf molekularer Ebene unter Einsatz von *Big Data* verstanden, unter Synthetischer Biologie ein *Engineering* biologischer Objekte mit molekularer Präzision.

² Es gibt zwei beachtenswerte Relativierungen in Bezug auf die Bedeutung und Reichweite des Technowissenschafts-Konzeptes: Einerseits lässt sich darüber streiten, ob Technowissenschaft „neu“ wäre oder schon immer (in vergleichbarer Weise) präsent war – ob es also einen sogenannten „Epochenbruch“ in der Wissenschafts- und Technikgeschichte zu verzeichnen gibt oder nicht (vgl. dazu Forman 2007, Nordmann et al. 2010). Zweitens – und dies lässt sich natürlich vortrefflich mit dem ersten Argument verknüpfen – bleibt offen, ob Technowissenschaft auf die Beschreibung einer bestimmten Konstitution von Forschung abzielt oder für eine andere interpretative Rahmung derselben Forschung steht (beispielhaft hierfür: Hacking 1983); ob es also um esoterische Forschungspraxen oder um externes Verständnis von Forschung geht. Ich möchte hier die durchaus angefochtene Positionierung wagen, dass das Konzept zu Recht für einen Epochenbruch stehen kann; genauer: einen Bruch auf diskursiver Ebene, einen sukzessiven Epochewandel auf praktischer und institutioneller Ebene.

in indirekten oder direkten Bemühungen das Verhältnis von Wissenschaft und Gesellschaft und insbesondere einen diesem zugrundeliegenden „Gesellschaftsvertrag“ neu zu verhandeln.³

Im Folgenden sollen die kurz skizzierten verallgemeinerbaren Charakteristika von Synthetischer Biologie und Systembiologie im Detail illustriert und diskutiert werden. Dabei beziehe ich mich vor allem auf empirische Beispiele aus der Systembiologie. Diese wird in der Literatur seltener diskutiert und obschon sie weniger augenscheinlich mit dem Konzept der Technowissenschaft verknüpft ist, vermag sie dieses doch bestens zu illustrieren. Das herangezogene Datenmaterial umfasst 38 Leitfaden-Interviews⁴, teilnehmende Beobachtung und Dokumentenrecherche in Österreich, Deutschland und Großbritannien im Rahmen der Projekte „*Towards a Holistic Conception of Life?*“ (2010-2013) und „*(Techno)epistemische Kulturen der Lebenswissenschaften im 21. Jahrhundert*“ (2014-2018). Einschlägige Literatur zu den jeweiligen Einzelaspekten ergänzt die empirisch grundierte Analyse, die Fragen der Praxis, der sozialen Organisation und der diskursiven Darstellung umspannt. In der abschließenden Diskussion werde ich nochmals darauf eingehen, was die Relevanz des veränderten Praktizierens, Organisierens und Darstellens von Forschung in der Wissenschaft, der Wissenschaftsforschung und der Governance von Wissenschaft sein könnte.

³ Mit unterschiedlichen Zielrichtungen: Gibbons (1999) und Lubchenco (1998) stehen beispielhaft für die vielfache Forderung in der Wissenschaft(spolitik) an gesellschaftliche Imperative wie Demokratie und nachhaltige Entwicklung anzuschließen; Guston (2000) analysiert den wissenschaftspolitischen Wandel in den USA der 80er und 90er Jahre; ähnlich Demeritt (2000) im Vergleich USA und UK; Winickoff et al. (2005) schließlich fokussieren auf den spezifischen Wandel der Forschungspraxis im Genombereich und fordern eine Neuformulierung, die sich in veränderten Eigentumsregimes realisieren soll.

⁴ Vorwiegend mit Vertretern der gegenwärtigen Systembiologie, aber auch mit Vertretern der Synthetische Biologie, Biolog*innen früherer Wissenschaftsgenerationen und mit Expert*innen aus dem Bereich Wissenschaftsgovernance (Förderung, Bewertung und Regulierung).

2 „What’s in a name?“ Systembiologie und Synthetische Biologie als Begriffe

Die Benennung neuer Forschungsaktivitäten ist keine triviale Angelegenheit; soviel lässt sich anhand der beiden Fallbeispielen ohne weiteres erkennen. Inzwischen liegen zur Namensgeschichte beider Felder einschlägige Analysen vor (etwa zur Synthetischen Biologie Bensaude-Vincent 2013, zur Systembiologie Powell et al. 2007⁵). Für beide Felder gilt, dass anstelle der in der Biologie etablierten Disziplinenbezeichnung nach Objektfeldern, wie Botanik, Zoologie oder Mikrobiologie⁶, in der Namensgebung auf einen bestimmten Ansatz fokussiert wird – den systemischen oder den synthetischen – der dann zumindest theoretisch auf alle biologischen Objektbereich angewendet werden kann.

An die Namensgebung gekoppelt ist die Frage der Definition des benannten Forschungsfeldes. Im Gegensatz zu Objektfeld-geleiteten Bezeichnungen (die sich auf die Selbstverständlichkeit der Definition von Pflanzen, Tieren oder Mikroorganismen als Forschungsgegenstände berufen können) gerät diese Frage hier wesentlich prekärer – was meint „System-“ oder „synthetisch“? Zudem muss die Definition einem multidisziplinären Kommunikationsraum genügen, was weitere Selbstverständlichkeiten erodiert. Gegenwärtig gibt es einerseits einen breiten Konsens über das (akzeptable) Fehlen einheitlicher und eindeutiger Definitionen (vgl. etwa Nature Biotechnology 2009) und andererseits gewisse etablierte Definitionsgewohnheiten. So wird in der Definition der Systembiologie zumeist eine historische Schiene eingeschlagen, die auf eine daten- und technikgetriebene Entwicklung aus der Genomforschung verweist;⁷ ebenso gilt die Betonung eines interdisziplinären „iterativen Loops“ zwischen Laborexperiment und theoretischer Modellierung als methodologisches Paradigma. Hinzu kommen der Verweis auf *top-down*, *bottom-up* und *middle-out* Ansätze (oder bestimmte „Schulen“) sowie Flagship Projekte wie die *in silico* Modellierung „ganzer“ Zellen (vgl. hierzu Vermeulen 2011), Organe oder gar Organismen.⁸ Hingegen gibt es kaum unumstrittene epistemischen oder technischen Durchbrüche, die für die beiden Felder identitätsstiftend wirken könnten.⁹

In Zusammenhang mit der Ansatz-geleiteten Charakterisierungslogik ist auch eine explizitere Beachtung von Paradigmen und Visionen in der Rede über Forschung zu beobachten (Powell et al. 2007, Kastenhofer 2013a), die sich mit der spezifischen Logik rezenter Förderregimes verknüpft (hierzu weiter unten). Und nicht zuletzt führt eine, zu traditionellen Kategorisierungen „querliegende“, Begriffsgestaltung zu Komplikationen in der Einordnung der neuen Ansätze als eigenständige Disziplin und Fachgemeinschaft in den bestehenden Fächerkanon. „Systembiologie“ kann keine weitere Disziplin oder Subdisziplin neben Zoologie, Botanik und Mik-

⁵ In beiden historischen Analysen wird interessanter Weise stark auf die Rolle von Einzelpersonen als Namensgeber fokussiert.

⁶ Bemerkenswerter Weise ist eine grundlegende Einteilung in „theoretisch“ und „experimentell“, wie in der Physik, oder in „rein“ und „angewandt“, wie in der Mathematik, in der Biologie nicht üblich oder zumindest sekundär.

⁷ Bezüge zu früheren wissenschaftlichen Entwicklungen und anderen Fachgebieten kommen beinahe ausschließlich von Nicht-Biolog*innen: von Seiten der theoretischen Chemie oder Mathematik. *Post factu* wird die Systembiologie zudem mit der „traditionellen“ Physiologie abgeglichen.

⁸ Der Verweis auf „Ganzheit“ im Sinne von „Gesamtheit“ (weniger und oft kontrovers im Sinne von Holismus) spielt tatsächlich eine beachtliche Rolle in der Darstellung von Systembiologie.

⁹ Vgl. etwa Kommentare wie „I can’t point to a single great discovery in this field – synthetic biology is really more about a redefinition of biotechnology.“ (Andrew D. Ellington in Nature Biotechnology 2009: 1071). Die Herstellung semi-synthetischen Artemisinins kann eventuell als Ausnahme zählen (vgl. Padon und Keasling 2014).

robiologie darstellen, will sie sich doch (potenziell) allen biologischen Objektbereichen widmen.¹⁰ Auch in der Lehre wurde sie bislang erst für die post-graduale Phase etabliert. Eine distinkte *Community* kann sie daher nur jenseits von primären Studiengängen und Disziplinengrenzen versammeln. Die Zuschreibung „Systembiologin“ zu sein konkurriert immer mit anderen, ebenso möglichen Zuschreibungen, wie „Botanikerin“.

Diese Ein- und Zuordnungsschwierigkeiten führen einen Weg fort, der mit den relativ älteren Bezeichnungen Molekularbiologie und Genetik begonnen wurde (vgl. Strasser 2002). Beide konnten qua ihres Ansatzes die Differenz und Differenzierung zwischen den (erst kurz zuvor unter dem Terminus Biologie vereinten) Objektbereichen der vormaligen Naturgeschichte nivellieren – einerseits verfügen Objekte aller Bereiche über Moleküle und Gene, andererseits wird molekular bzw. genetisch häufig an einem Objekt (als Modellorganismus) geforscht, um etwas über andere, taxonomisch oft weit entfernte Objekte zu erfahren oder überhaupt gleich auf der „objektfreien“ allgemein-theoretischen Ebene zu bleiben. Mit dem Auftauchen instrumenteller Modellorganismen wurde damit nicht nur der Erkenntnisgegenstand substantiell vom Forschungsgegenstand getrennt, es entstand auch eine neue Form der Vergemeinschaftung – jene der *Drosophila*- oder *Arabidopsis*-Forscher*innen, die an der Fruchtfliege oder der Acker-schmalwand nur als exemplarischen Funktionszusammenhängen interessiert sind.¹¹

Es darf daher nicht verwundern, wenn sich die Bezugnahme auf die Begriffe der Systembiologie und Synthetischen Biologie in den durchgeführten Interviews fast durchwegs als erklärungsbedürftig gestaltet. Dies betrifft nicht nur die Aussagekraft des Begriffs und dessen beanstandeten „Missbrauch“ als inhaltsleeres *Buzzword*, sondern auch Fragen der eigenen Identität (zu Konfigurationen von Identität in technowissenschaftlichen Kontexten, siehe die weiterführende Diskussion in Kastenhofer und Molyneux-Hodgson, im Erscheinen 2020). So bezeichnet sich ein Wissenschaftler innerhalb desselben Interviews nicht nur als „Systembiologe“, sondern auch als „Chemiker von der Ausbildung her“, „als Biochemiker“, als „eigentlich per se Molekularbiologe“ und letztlich „auch in gewisser Weise [als] Organismiker“.¹² Zugleich hat er Funktionen in internationalen Netzwerken zu *Omic*s- und Modellorganismus-Forschung inne, ordnet seine Arbeit in diversen internationalen Großprojekten weitaus spezifischeren Fragestellungen zu und teilweise auch dem lokale verfügbaren Gerätepark unter.¹³ Kaum ein Interviewpartner bezeichnet sich ausschließlich als „Systembiologe“ oder „synthetischer Biologe“. Die Neigung oder Abneigung, sich überhaupt als ein solcher zu bezeichnen, hängt mit einer wesentlichen weiteren Komponente zusammen: der Funktionalisierung des Begriffs als Label, die Eigenheiten gegenwärtiger Förderregimes reflektiert.

¹⁰ Hierin besteht eine Parallele zu moderner Molekularbiologie und einem durch diese angestoßenen „Molekularisierungs“-Projekt innerhalb der Biologie (vgl. de Chadarevian und Kamminga 1998).

¹¹ Prototypisch hierfür eventuell die „Phagen-Gruppe“, die sich ja vorwiegend aus Nicht-Biolog*innen zusammensetzte.

¹² „(...) weil ich ja diese Technologien in bestimmten Organismen anwende.“ (alles: Interview 6)

¹³ Womit nicht nur die personale Zuordnung zur Systembiologie, sondern zu allen wissenschaftlichen Ordnungsbegriffen prekär geworden ist.

3 Forschungsfeld oder Förderfeld? Systembiologie und Synthetische Biologie als Labels

Die Kategorisierung von Forschungsfeldern dient längst nicht mehr nur internen Zwecken der Organisation von Lehre und Forschung an wissenschaftlichen Einrichtungen oder Zwecken der öffentlich-medialen Kommunikation. Mit der gegenwärtig zentralen Bedeutung von sogenannten Drittmittelgeldern für den Forschungsbetrieb hat auch der Einfluss von Förderpolitik auf Wissenschaft massiv zugenommen. In welchem Ausmaß und wie tiefgreifend dieser Einfluss wirkt, wird allerdings immer noch kaum thematisiert (diesbezügliche Verschiebungen wirkmächtiger Autoritätsmuster diskutieren etwa Whitley et al. 2010). Dies könnte (wie auch das fehlende Bewusstsein für andere fundamentale Verschiebungen innerhalb der letzten Jahrzehnte) mit einem fehlenden generationenübergreifenden Dialog innerhalb der Wissenschaft zu tun haben, der sich in meinen Interviews abzeichnet (zum Thema wissenschaftlicher Generationen in der Biologie am Universitätsstandort Wien, vgl. Kastenhofer und Novy 2018). Systembiologie und Synthetische Biologie bezeichnen damit längst nicht mehr nur Forschungsfelder und post-graduale Studiengänge, sondern vielleicht sogar vorrangig Förderfelder. Sie stellen Labels dar, die Förderprogramme aufgreifen können und die letztlich auch in diskursive Hype Cycles eingewoben sind. So ist die Rede von „buzzwords“, „rebranding“, „jumping on bandwagons“ und „bubbles, that may burst“ (vgl. Interviews oder auch Kommentare in Fachzeitschriften wie Nature Biotechnology 2009).

Um diese Situation besser verstehen zu können, ist es hilfreich unterschiedliche Fördermodelle zu unterscheiden (vgl. auch Blümel 2011): Wissenschaftsförderung oder allgemein F&E-Aktivitäten folgen je unterschiedlichen Modellen. *Agenturen der bottom-up Forschungsförderung*, wie der österreichische Wissenschaftsfonds (FWF) oder das European Research Council (ERC) der EU, fällen ihre Förderentscheidungen aufgrund von Einzelantragsbewertung durch Peer Review. Disziplinäre Kategorien spielen hier über die Auswahl der Reviewer nur eine indirekte Rolle. Auch andere Kategorisierungen von Forschung sind sekundär. Gefördert wird, was von den eigenen wissenschaftlichen Peers als besonders positiv beurteilt wird. *Missionsorientierte Förderagenturen und Förderprogramme* definieren meist ein allgemeines gesellschaftliches Problem, das innerhalb der zu fördernden Forschung adressiert werden soll. Missionsorientierte Forschung wird national (etwa durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG) und international (wie zunehmend über die Rahmenprogramme der EU) gefördert. So soll Forschung ermöglicht werden, die zum Gemeinwohl beiträgt (Wettbewerbsfähigkeit, Nachhaltigkeit, Gesundheit) und sonst vernachlässigt würde. Neben Bewertungskriterien wissenschaftlicher Qualität tritt das Kriterium des plausiblen Beitrags zur spezifizierten nicht-wissenschaftlichen Mission. Diese beiden Modelle decken die klassische Darstellung von Forschungsförderung ab.

Im vorliegenden Kontext ist es jedoch wichtig, über ein weiteres Modell zu sprechen, das zunächst eine Mischung aus den beiden ersteren zu sein scheint (vgl. auch Kastenhofer et al. 2012): *Label-orientierte Förderinitiativen* zielen auf konkrete Forschungsfelder oder -ansätze ab, die einen impliziten oder indirekten Bezug zu konkreten Missionen haben. Ein Beispiel hierfür sind die Nationale Nanotechnologie Initiative der USA, aber auch die britischen und

deutschen Förderinitiativen für Systembiologie und Synthetische Biologie¹⁴ oder die vergangene österreichische Initiative zur Förderung der Genom-Forschung GEN-AU. An die Seite des Bewertungskriteriums wissenschaftliche Qualität tritt hier das Selektionskriterium der Zugehörigkeit zu einem bestimmten Forschungsfeld. Die prinzipielle Förderwürdigkeit des Forschungsfeldes hingegen wird an anderer Stelle verhandelt, nämlich im Vorfeld der Programmentwicklung. Vor dem Hintergrund eines Label-orientierten Fördermodells sind zwei diskursive Strategien unabdingbar: die einzelnen Forscher*innen müssen erstens glaubhaft argumentieren, dass sie oder ihre Arbeit einem bestimmten Feld zuzuordnen sind und sie müssen zweitens als Lobby dieses Feldes in Erscheinung treten und die Fördergeber davon überzeugen, dass dieses Forschungsfeld per se einer bestimmten Mission dienlich ist und daher anderen Feldern zu bevorzugen ist. Dieser doppelte diskursive Konstruktionsaufwand ist es, der manche Wissenschaftler*innen vor einem Gebrauch solcher Labels zurückschrecken lässt und andere als aktive Player anzieht und auch zu vernetzen mag.¹⁵

Österreich kann als Fallbeispiel für ein Land dienen, in dem keine nationalen Förderinitiativen für Systembiologie oder Synthetische Biologie entwickelt wurden (vgl. Kastenhofer et al. 2012 für eine detailliertere Darstellung). Einerseits wurde hier bis dato offensichtlich keine erfolgreiche Lobbyarbeit für diese Labels geleistet¹⁶, andererseits ist die Verwendung des Labels infolge auch nicht in Förderkapital umzusetzen. Ähnlich zögerlich gehen die in Österreich ansässigen interviewten Wissenschaftler*innen mit dem Begriff Systembiologie um. Abgesehen von zwei Einzelprofessuren gibt es keine Institutionen (Forschungsverbände oder Forschungszentren), die den Begriff im Namen tragen.¹⁷ Die meisten Wissenschaftler*innen scheuen auch in den Interviews vor einer Selbstbeschreibung als Systembiolog*innen zurück und verweisen dabei häufig darauf, dass eine solche Zuordnung „überzogen“ wäre oder dass sie diesen Begriff als inhaltsleeres *Buzzword* eher ablehnen. Ähnliche Reaktionen finden sich zwar auch in Interviews mit in Deutschland oder Großbritannien ansässigen Wissenschaftler*innen; diese werden dann aber durch einen generell größeren Optimismus gegenüber den Erfolgchancen des kollektiven Projektes Systembiologie aufgewogen (wobei recht vage bleibt, welcher Art dieser Erfolg sein werde).

Wenn auch die tatsächlichen Kausalitäten und Wirkfaktoren in den nationalen politisch-wissenschaftlichen Gefügen mit dem vorhandenen empirischen Material nicht weiter zu erhellen sind, so ist neben der Relevanz von Förderregimes für die Begriffsschöpfung und -verwendung eine weitere Aspect bemerkenswert: die vorwiegend national organisierte Förderung

¹⁴ Frühere deutsche Förderinitiativen zielten auf Bionik, Kybernetik und Künstliche Intelligenz ab (vgl. Aumann 2011).

¹⁵ „Das ist auch eines der größten Probleme der Systembiologie per se. Es gibt jetzt mehr Systembiologien auf der Welt, als es Forscher gibt. Jeder ist plötzlich ein Systembiologe, weil die Leute gemerkt haben, da ist ein politisch enorm hoher Druck drauf, da Geld hineinzustecken. Das ist auch im Prinzip gut. Das läuft auf EU-Ebene so, das läuft auf nationaler Ebene so. Aber vieles von dem, was läuft, hat nichts mit Systembiologie zu tun.“ (Interview 7) Mein empirisches Material deutet darauf hin, dass mit diesem Umstand in unterschiedlichen Ländern unterschiedlich umgegangen wird. In Österreich wird er von Wissenschaftler*innen als Begründung dafür herangezogen, diese Labels überhaupt zu meiden; in Großbritannien und Deutschland gibt es hier hingegen keine speziellen Berührungängste und die Labels werden weitaus selbstverständlicher eingesetzt. Dies geht einher mit unterschiedlichen wissenschaftspolitischen Strukturen und Förderlandschaften.

¹⁶ Man fragt sich hier freilich: Warum? Neben der (unüberprüften) Zuschreibung, österreichische Wissenschaftler*innen seien eher Begriffs-konservativ, ist zu bedenken, dass in Österreich möglicher Weise die kritische Masse an Wissenschaftler*innen aus den jeweiligen Disziplinen fehlt und darüber hinaus die Förderbudgets allgemein sehr gering sind (nach Ablauf der GEN-AU-Initiative gibt es derzeit keine einzige Label-orientierte Förderschiene in der Biologie).

¹⁷ Eine bemerkenswerte Ausnahme stellt das „*Center for Organismal Systems Biology*“ (COSB) dar, das aber eher als bewusste Gegeninitiative zum molekularen Mainstream der gegenwärtig etablierten Systembiologie zu sehen ist.

von Systembiologie und Synthetischer Biologie (die in Richtung der Mission zielt nationale Innovationssysteme konkurrenzstark zu machen) führt zu einer erstaunlichen Bedeutungszunahme der nationalstaatlichen Ebene in der Wissenschaft. Wissenschaftliche (Fach- und/oder Strategie-)Gemeinschaften finden sich in gemeinsamen nationalen Lobbying-Aktivitäten, sie werden über nationale Förderprogramme auf nationaler Ebene organisiert und auch potentielle transnationale Kooperationen hängen von nationalen Entscheidungen ab (etwa über die Teilnahme an ERA-NET Programmen der EU). So ist auch in den Interviews neben Personen- und Instituts-spezifischen Ansätzen die nationale Ebene ein wesentlicher Bezugspunkt, wenn es darum geht den Stand systembiologischer Forschung zu beschreiben.

4 Synthetische Biologie und Systembiologie als „Gemeinschaften ohne Mitglieder“

Die hier beschriebenen Spezifika – die Ansatz-orientierte Begriffsbildung, wie auch die Fördergeber-orientierte Begriffsverwendung – sind eng verknüpft mit der Frage nach der Bildung und Beschaffenheit der wissenschaftlichen Gemeinschaften, die mit diesen beiden Labels verknüpft ist. Beide Spezifika sind von der gemeinschaftsbildenden und –stabilisierenden Sozialisation während des Studiums, wie sie noch für die (Sub)Disziplinen der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts wesentlich war, entkoppelt. Bis heute ist etwa das Biologiestudium an der Universität Wien in eine gemeinsame Einstiegsphase für alle angehenden Biolog*innen und in eine Spezialisierungsphase für die Studiengeweige Anthropologie, Botanik, Genetik-Mikrobiologie, Ökologie, Paläobiologie und Zoologie unterteilt. Als programmatisches Ziel für die Studieneingangsphase definiert die verantwortliche Programmleitung:

Die Absolventinnen und Absolventen des 1. Studienabschnitts sind mit der biologischen Denk- und Betrachtungsweise, dem biologischen Sprachgebrauch und den wesentlichen Charakteristika der biologischen Teildisziplinen vertraut. Sie haben sich einen ausreichenden Überblick auf dem Gesamtgebiet der Biologie erworben, um eine Entscheidung für einen der angebotenen Studiengeweige im 2. Studienabschnitt zu treffen.

(<http://www.wegweiser.ac.at/univie/studieren/lewi/A437.html?klapp=7>, eingesehen am 8. Juni 2015)

Allgemeine Denkweisen, Betrachtungsweisen und Sprachgebrauch sollen also allgemein „biologisch“ eingelernt werden und später nur noch durch „theoretische Wissensinhalte“, „Fertigkeiten“ und „Vertiefungen“ in den Studiengeweigen ergänzt und letztlich in selbständiges Arbeiten übersetzt werden (s. ebd.). Dieser didaktische Ansatz repräsentiert die Situation einer vereinheitlichten Biologie, die sich an allgemein biologischen Fragen orientiert und durch immer weitere gegenstands-bezogene Spezialisierungen gleichsam ausfächert. Er taugt weniger für die Sozialisation und Enkulturation in einen gegenstands-unspezifischen Ansatz wie Systembiologie oder Synthetische Biologie und spiegelt auch den tatsächlich stark von technischen Fertigkeiten, verfügbaren Daten und finanzierbaren Projekten geprägten Forschungsalltag nicht wieder. Tatsächlich brechen allgemein biologische und auch Studiengeweige- oder Subdisziplinen-spezifische Ansätze gegenwärtig weg. Es mangelt nicht nur zunehmend an Vortragenden, die eine „Allgemeine Biologie“ lesen (können), sondern auch an solchen, die eine „Allgemeine Ökologie“ oder „Allgemeine Zoologie“ lesen (können), und damit an der realistischen Option auf die Sicherstellung allgemeiner Denkweisen, Betrachtungsweisen und Sprachgebräuche über die Wissenschaftler*innengenerationen hinweg. Das Studium der Biologie ist derzeit am Wiener Standort zudem in bezeichnender Weise verdoppelt, in ein Studium der Biologie und ein Studium der Molekularen Biologie.

Noch komplizierter wird die Situation durch die so zentrale Interdisziplinarität von Systembiologie und Synthetischer Biologie. So kann die gemeinschaftsbildende und -stabilisierende Funktion der Nachwuchsausbildung in Systembiologie und Synthetischer Biologie kaum greifen oder setzt zumindest sehr spät, nämlich post-gradual ein.¹⁸ Es scheint fast so, als würde man zur

¹⁸ Was aus der universitären Sozialisation aber offensichtlich bleibt, ist eine Idee davon, was eine „biologische Frage“ sei. Denn während Methoden, Fertigkeiten, Sprache oder Paradigmen aus unterschiedlichsten Bereichen beigesteuert werden dürfen, gilt es allen Systembiolog*innen als wesentlich, dass mit ihrer Forschung „biologische Fragen“ adressiert würden (wie auch immer sich solche definieren, vgl. dazu die Zitate aus I 29 weiter unten).

Systembiologin oder zum synthetischen Biologen nicht *durch* das Studium sondern *trotz* des Studiums. Die Synthetische Biologie versucht diese „Sozialisationslücke“ freilich durch Initiativen wie iGEM zu schließen. Die Identifikation der jungen Wissenschaftler*innen mit Systembiologie und Synthetischer Biologie ist nach Teilnahme an entsprechenden post-gradualen Angeboten auch relativ höher als bei ihren älteren Kolleg*innen. Weitere Anlässe, sich vor diesem vereinzelt Hintergrund dann doch zu vernetzen stellen der post-graduale Austausch von Wissen, Know-How und Visionen in der Forschungspraxis (über gemeinsame Projekte, Konferenzen, Journals) wie auch die bereits erwähnte Notwendigkeit des Lobbyings für den eigenen Ansatz bei potenziellen Fördergebern dar.

Es sind letztlich dies die Orte, an denen auch realisiert und/oder ausverhandelt wird, was Systembiologie und Synthetische Biologie sind, wobei die alltägliche Forschungspraxis mit ihren je unterschiedlichen Anforderungen wiederum eher zu Diversifizierung als zu Vergemeinschaftung führt. Dementsprechend hoch ist der Anteil an vergemeinschaftenden Bestrebungen in Review- und Förderliteratur. Das diskursive Bindeglied in diesen Darstellungen ist dabei durchwegs auf Ebene der Vision zu suchen. Eine Fülle von Vokabeln wird mobilisiert, um auf eine solche Ebene zu verweisen: „*approach*“, „*perspective*“, „*vision*“, „*paradigm*“, „*view*“, „*project*“, „*focus on [the development of well-characterized parts]*“, „*type [of research]*“, „*moving towards [a specific goal]*“, „*effort to apply engineering principles*“ oder „*immediate goals*“ und „*ultimate goal*“ (vgl. auch Nature Biotechnology 2009). Die visionäre Ebene impliziert die Rede von Idealen, die noch nicht erreicht sind oder auch nie erreicht werden können, und eine gewisse Akzeptanz der resultierenden Spannung zwischen nüchterner Realität und visionärem Ziel.

Wir haben (...) die ganzen zweihundert Leute zu einer großen Drei-Stunden-Diskussion [über das Ziel] The Virtual Human [zu modellieren] gehabt. Wirklich Leute, die aus dem Feld sind, und darüber diskutiert, wie realistisch es ist, The virtual Human zu versprechen. Es gibt da eine internationale Gesellschaft, die gegründet worden ist, die das Ziel hat, The virtual Human zu verstehen. Und sehr viele Leute im Feld glauben, dass das extrem schädlich ist. Weil eben so viele Versprechungen dahinter sind, die wir nicht einlösen können. Und man muss auch leider halt dann einen Schritt zurückgehen und sagen, nein, wir können es noch nicht. Man muss auch eingestehen, dass wir dazu nicht in der Lage sind momentan. Aber vielleicht wird es irgendwann einmal gehen. Heißt aber nicht, dass man deswegen die Forschung nicht einstellen soll. Ganz im Gegenteil. Man muss es jetzt vermehrt betreiben, um dorthin zu kommen. Ich muss nur vorsichtig sein mit dem, was ich verspreche. (Interview 7)

Dass Identitätsstiftung auf diese visionäre Ebene verlagert wird, rückt auch die Frage der primären Orientierung von Forschungshandeln (siehe dazu weiter unten) in den Mittelpunkt, gibt es doch kaum alternative Anhaltspunkte dafür, woran sich der Forschungsalltag (neben pragmatischen Gesichtspunkten wie technischer Machbarkeit und Datenverfügbarkeit) orientieren soll. Damit stellen Systembiologie und Synthetische Biologie Sonderformen wissenschaftlicher Gemeinschaftlichkeit dar und es verwundert nicht, wenn die Verweise auf zentrale Personen, Ansätze oder Literatur in der Systembiologie in den Interviews stark variieren und die Systembiologie mangels einheitlicher und eindeutiger Selbst- und Fremdzugehörigkeiten auch als „Gemeinschaft ohne Mitglieder“ erscheinen kann.

5 Systembiologie und Synthetische Biologie als „Disziplinen auf Zeit“

Die Etablierung von Systembiologie und Synthetische Biologie folgt einem bestimmten Wissenschaftsmodell, das im Wesentlichen den Charakteristika von „*Big Science*“ entspricht (vgl. Vermeulen 2009) und in der Biologie später (und in etwas anderer Qualität) eingetreten ist, als in der Paradedisziplin der klassischen Wissenschaftstheorie, der Physik (Vermeulen et al. 2010). Forschung findet in großen, internationalen und kollaborativen Projekten statt (vgl. Vermeulen et al. 2013), die temporäre Netzwerke konstruieren und hinter denen Einzelpersonen (oder gar die früheren kontinentaleuropäischen Lehrstühle), disziplinäre Gemeinschaften oder lokale Institutionen zurücktreten (was wiederum das Verhältnis von Forschung und Lehre beeinflusst und die Bedeutung von Disziplinen verändert). Forschung findet auch in unterschiedlichsten Konstellationen öffentlicher und privater Akteure und in einem breiten Spektrum hybrider Institutionen statt (in der Biologie allgemein: Shorett et al. 2003, in der Systembiologie: Thiel 2006, in der Synthetischen Biologie: Rai et al. 2007, beide: Calvert 2008). Kurz, die Organisation der emergierenden Technowissenschaften folgt neuen Logiken: Kollektivierung wird nicht nur über die althergebrachten disziplinären Studiengänge und Forschungseinrichtungen, sondern auch über multidisziplinäre Visionen und Kollaborationen erreicht; Differenzierung nicht nur über eine zunehmende Spezialisierung in Gegenstands-bezogene Subdisziplinen, sondern auch über eine Ausweitung des Spektrums an Institutionalisierungsformen, über die Orientierung an unterschiedlichen Technologien und Datenpools und über einen Projekt-förmigen Forschungsalltag. Mit Letzterem ist auch die Zeitlichkeit der Institutionalisierung von Forschung grundlegend verändert: Forschungsprojekte und neuerdings auch Forschungszentren unterliegen einer (Förder)Frist.

Beispielhaft für diese Aspekte können die sechs großen Zentren für „integrative Systembiologie“ (CISBs) des BBSRC und EPSRC in Großbritannien, die *HepatoSys*-Initiative und das Netzwerk Virtuelle Leber sowie die Initiative Forschungszentren der Systembiologie (*FORSYS*) des Deutschen Ministeriums für Bildung und Forschung und die ERA-Net Programme *ERASysBio+*, *SysMO*, *ERASysAPP* und *ERACoSysMed* angeführt werden. All diese Initiativen – seien sie dem Aufbau von Forschungszentren, dem Aufbau von Forschungsnetzwerken oder der Förderung von Einzelprojekten gewidmet – zielen auf Kollaboration ab und sind zeitlich befristet. Diese zeitliche Befristung erleichterte einen Wandel im Labeling des Förderfokus, etwa in den letzten Jahren weg von Systembiologie per se hin zu Anwendungen der Systembiologie (insbesondere als Systemmedizin) und Synthetischer Biologie. Sie bedeutet allerdings auch, dass die wissenschaftliche Organisationseinheit „(Sub)Disziplin auf Zeit“ eingeführt wurde.

Mit dem technologie- und datengetriebenen Forschungsalltag verknüpft ist nicht nur eine Beförderung der Kurzfristigkeit von Forschungskonstellationen, sondern auch eine bestimmte Logik der Innovation: der Einzug teurer Geräte und voluminöser Datenarchive in die Biologie wird in der Systembiologie derart maßgeblich gewertet, dass sich der kollektive Gründungsmythos vorwiegend an Innovationen in diesen Bereichen festmacht. Die Erstellung von Datenarchiven oder die Entwicklung technowissenschaftlicher Artefakte stellen zudem schon für sich genommen eine ausreichende Legitimierung von Wissenschaftsprojekten dar (für Ersteres beispielhaft das Humangenom-Projekt, für Zweiteres etwa die *in silico* Zelle der Systembiologie oder Craig Venters *Cynthia*). Daten, Experimentalsysteme oder *proof of principle* Aktivitäten werden mit Erkenntnis gleichgesetzt oder dieser zumindest gleichgestellt (Kastenhofer 2013b: 19). Somit stellt sich auch die Frage, ob die in der Moderne immer implizite Annahme einer primären Orientierung wissenschaftlichen Handelns an Erkenntnisgewinn nicht längst durch konkurrierende Orientierungen abgelöst wurde.

6 Systembiologie und Synthetische Biologie als Funktionswissenschaften

Die Frage nach der primären Orientierung von wissenschaftlichem Handeln stellt nicht weniger als die moderne Verfassung von Wissenschaft zur Disposition. In der Systembiologie wie auch der Synthetischen Biologie erscheint das Ringen darum, der Natur Wahrheit zu entreißen oder Grundsatzfragen betreffend die Natur der Natur zu beantworten ergänzt¹⁹ durch andere Zielrichtungen, wie der Vision des Konstruierens alternativer (oder erweiterter) Naturen, wie sie im Kontext des Engineering der Synthetischen Biologie auftritt (Calvert 2013, Kastenhofer und Schmidt 2011, Kastenhofer 2013b, Kastenhofer 2013a) oder auch durch vorerst instrumentelle Zielsetzungen wie die Herstellung einer *in silico* Zelle, die letztlich aber zum Selbstzweck geraten.

So ist in den Darstellungen der interviewten Systembiolog*innen und Synthetischen Biolog*innen vordergründig von einer primären Orientierung an bzw. durch wissenschaftliche Neugier und biologische Fragen die Rede (ein Topos, der sich diskursiv als *curiosity driven research* in der letzten Zeit beachtlich stabilisiert hat und stabilisierend wirkt). Dieser Topos wird allerdings in eine Orientierung an Erkenntnisgewinn einerseits und eine Orientierung an Konstruktion andererseits differenziert, um die besondere Identität der Synthetischen Biologie hervorzuheben oder Systembiologie und Synthetische Biologie als Gegensatzpaar zu charakterisieren. Er wird gelegentlich auch durch gesellschaftliche Missionen ergänzt, ohne dass sich hier bestimmte Muster erkennen ließen. Zudem befürworten manche Wissenschaftler*innen angewandte Forschung und Kooperation mit privatwirtschaftlichen Unternehmen, andere lehnen dies als für sie grundsätzlich nicht interessant ab.

Geht man in der Text-Interpretation noch einen Schritt weiter, so wird es um eine weitere Stufe komplizierter: nicht nur, dass die in der Wissenschaftssoziologie altbekannten individuellen Interessen auf den Plan treten (also das Streben nach sozialem, kulturellem und ökonomischem Kapital), auch die Orientierung an Erkenntnis oder Konstruktion erweist sich als zu pauschal, um Ähnlichkeiten und Unterschiede im Forschungshandeln zu erklären. Was genau dem oder der einzelnen als Erkenntnisgewinn bzw. Konstruktion gilt, folgt unterschiedlichen Paradigmen – und das innerhalb desselben Forschungsfeldes, bei Wissenschaftler*innen gleicher „Stammdisziplin“ und ohne sichtbare Konflikte zu evozieren. So fasst ein Interviewpartner den Ansatz der Synthetischen Biologie als einen dem chemischen Paradigma, dem „synthetisch-konstruktiven Gedankengang“, folgenden Ansatz zusammen. In diesem Paradigma verschwimmen die Grenzen von Verstehen, Konstruieren und „handhabbar machen“ (ähnlich dem von Bacon entworfenen Wissenschaftsmodell, vgl. Kastenhofer und Schmidt 2011), von Forschen und Spielen, von Verstand und Intuition durch einen Fokus auf das mechanistische „Funktionieren“ der Zelle:

Weil letztendlich will man ja herausbekommen, *wie die Zelle funktioniert*. Und diese Fragestellung kann man aber eigentlich nur lösen im Zusammenhang mit evolutionären Fragestellungen. Also ich muss irgendwie die Frage stellen können, ist das Netzwerk, so wie ich das sehe, robust? Und warum ist es robust? Und ist es optimal? Und wenn es nicht optimal ist *in einem technischen Sinne*: hat das bestimmte Gründe, warum die Natur hier einen Trade off macht zwischen der Optimalität und der *Funktionalität* von dem Netzwerk. Möglicherweise lässt sich das Netzwerk durch Evolution leichter erweitern, wenn es nicht vollständig optimal ist und so weiter. Das sind also alles sehr, sehr wichtige Fragestellungen,

¹⁹ Streng genommen ist die Rede von der Natur allerdings vollständig ersetzt durch die Rede von der Biologie.

die man eigentlich angehen muss, um zu verstehen, warum lebende Organismen in dieser Art und Weise *zusammengebaut* sind und nicht anders. (...)

In der Chemie hat man das auch gesehen, also das klassische Beispiel, das immer genannt wird, ist der Wöhler, der also aus anorganischen Substanzen das erste Mal ein organisches Molekül *gebaut* hat. Und zu dem Zeitpunkt haben die Chemiker dann entdeckt, dass es also nicht ausreicht, einfach nur große Systematiken aufzustellen, also das Periodensystem der Elemente zu machen und die Eigenschaften zu *studieren* und riesige Systematiken zu machen, so wie das die Biologie heutzutage auch größtenteils macht, sondern dass es extrem wichtig ist, *diesen synthetisch konstruktiven Gedankengang* mitzunehmen. Also zu versuchen, Moleküle *zu bauen* und in diesem Prozess, wenn man versucht Moleküle *zu bauen*, *lernt* man dann sehr viel mehr, wie sich die einzelnen Atome verhalten und wann stabile Bindungen zustande kommen, und so weiter. (...)

Und genau diesen Ansatz verfolgt die Synthetische Biologie auch. Die möchte also durch diese *Konstruktion*, durch diesen synthetischen Ansatz *lernen*, wie die Systeme *funktionieren*. Und die Systeme *handhabbar machen*. (...) Und wenn man sich die Chemie anschaut, dann also hat die eine rasante Entwicklung [gemacht]. (...) Und das ist zum größten Teil dadurch zustande gekommen, dass die Leute halt einfach versucht, gespielt haben, also *versucht haben etwas zusammenzubauen*, und dabei sind sie auf Probleme gestoßen, die dann wieder neue Konzepte nach sich gezogen haben. Und dadurch haben sie also *eine sehr, sehr intuitive Art und Weise* gehabt um zu lernen, wie *funktionieren* Moleküle und wie kann ich Moleküle *bauen*. Und einen ähnlichen Ansatz braucht man in der Biologie auch. (Interview 14)

Derselbe Interviewpartner sieht die Systembiologie einem typisch physikalischen Problem verhaftet:

Modelle bauen ist auch was Konstruktives, aber dort hat man also das Problem, dass man halt den richtigen Abstraktionslevel erwischen muss. Also man muss, wenn man das also jetzt in mathematische Formalismen gießt, muss man natürlich relativ viel weg abstrahieren, was möglicherweise eine Rolle spielt. Da ist man dann wieder bei dem klassischen Problem der Physik gelandet, wo man also die Planetenbewegung zwar sehr schön durch die abstrakten Gleichungen, die Newton'schen Gleichungen beschreiben kann, wenn man also die Planeten zu mathematisch kleinen Punkten abstrahiert und so weiter, aber all die interessanten Phänomene, wie das Tumbling von Asteroiden und so weiter, wo es jetzt genau darum geht, dass eben das Objekt, das man beschreibt, eben kein mathematisch perfekter Punkt ist, sondern eben Asymmetrien hat und so weiter, das lässt sich dann natürlich alles nicht damit erklären. Und benötigt dann wieder eine Reduktion des Abstraktionslevels und andere neue Methoden, mit denen man sich das anschauen kann. (Interview 14)

In Folge sind Formen einer „Einnischung“ einzelner Forscher*innen nicht nur, oder gerade nicht, nach Disziplinen, sondern nach epistemischen, technischen und gesellschaftlichen Paradigmen und Interessen beobachtbar, die sich habituell wie auch in der Wahl von Kooperationspartnern niederschlägt (vgl. auch hierzu den Wandel an Autoritätsmustern nach Whitley et al. 2010). Dieses Muster der Einnischung erinnert stärker an die grundsätzlichen Differenzierungen, wie sie in Physik und Mathematik auftreten (in theoretisch und experimentell, rein und angewandt) bzw. an jene zwischen akademischer Biologie und industrienaher Biotechnologie, denn an die traditionell gegenstandsbezogene Differenzierung der Biologie in Subdisziplinen. So sprechen Synthetische Biolog*innen von einer „MIT-Bubble“, die im Wesentlichen aus dem *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) und dem *Imperial College London* bestünde und einen ganz spezifischen Typus des *Engineering* repräsentiere,²⁰ dem Wissenschaftler*innen unterschied-

²⁰ „MIT ist ja klassisch; klassisch von den Ingenieuren irgendwie stark beeinflusst. Und das sind auch genau die Leute, die jetzt auch da in die [Synthetische Biologie gehen].“ (Interview 14)

lichster Stammdisziplinen folgten. Ähnlich finden sich in der Systembiologie informelle Netzwerke, die einem bestimmten theoretischen Paradigma folgen, das (bestimmte Ausprägungen der) Biologie, theoretische Chemie und Mathematik habituell so stark verschränkt, dass die disziplinäre Zuordnung der einzelnen Teilnehmer*innen schwer fällt. Parallel dazu finden sich Netzwerke der –Omics-Forschung, in denen Laborforschung und laborgenerierte Daten eine zentrale Rolle spielen und die Grenzen zwischen (bestimmten Typen von) Ökologie, Physiologie, Biochemie und Bioinformatik verschwimmen lassen.

Während in der Synthetischen Biologie also die Aneignung oder Nichtaneignung eines bestimmten Engineering Ansatzes (vor dem Hintergrund eines chemisch-synthetischen Paradigmas) differenzierend wirkt, ist es in der Systembiologie die Aneignung oder Nichtaneignung eines mathematischen bzw. messend-laborbiologischen Ansatzes (vor dem Hintergrund eines physikalisch-mechanistischen Paradigmas). Ein Laborbiologe beschreibt das (national geprägte) „Nadelöhr“ der Aneignung des mathematischen Ansatzes so:

Wir hatten bis jetzt zwei Meetings [zwischen der mathematischen und biologischen Arbeitsgruppe] und ich sage Ihnen, da treffen Afghanistan und Österreich zusammen. Wir verstehen uns nicht. Meine Studenten verstehen die Mathematiker nicht, weil unsere Mathematikausbildung einfach schlecht ist. Ich habe Leute aus Ungarn in der Gruppe, die sind tolle Mathematiker, die haben nicht einmal eine Mathematikausbildung, die sind fantastisch. Und wir müssen einfach vermehrt im Studium auch in die Richtung gehen. Das müssen wir schon im Studium berücksichtigen, dass die Biologen quantitativer denken und die Mathematiker auch biologisch was machen. Für diejenigen, die halt das machen wollen. Aber die Syntax ist so unterschiedlich, das ist unglaublich. Also auch ich, muss ich sagen, ich steige bei vielen mathematischen Sachen einfach aus, weil ich es nicht mehr verstehe. Die Denkweise, die Fähigkeit, abstrahiert zu denken und mathematisch zu denken, ist eine ganz andere als biologisch-experimentell zu denken. Und das muss irgendwo aufeinander abgestimmt werden. (Interview 7)

Kontrastiert man diese Formen des Verstehens mit dem in der naturhistorischen Biologie verfolgten Ansatz Natur (nicht Biologie!) über Einzelbeschreibungen und Ordnungssysteme zu verstehen (vgl. das Zitat oben aus Interview 14), so wird die Bandbreite an Möglichkeiten deutlich, „Verstehen“ zu verstehen. Aus moderner Sicht würde diese frühere Form des Verstehens wohl eher als Beschreiben in Gegensatz zu Verstehen gesetzt, da sie keine Aussagen über das Funktionieren zulässt (oder diese Aussagen erst nachträglich in Zusammenhang mit der Frage nach dem „Funktionieren“ von Evolution hinzugefügt wurden). Aus derselben modernen Sicht stellt sich allerdings auch die Frage, ob die Fähigkeit der Konstruktion (eines Objekts oder Phänomens) zwingend dessen Verständnis darstellt.

Zoomen wir also nochmals auf die Frage des Verständnisses von Verstehen ein, diesmal nicht in so weiten Epochenvergleichen wie der Naturgeschichte des 18. Und 19. Jahrhunderts und der (post-)modernen Biologie des 20. Und 21. Jahrhunderts. Ein Interviewpartner, der bloß eine Generation früher angesiedelt ist als der Großteil der aktuellen Systembiolog*innen (Jahrgang ca. 1940, letztere Jahrgänge ca. 1950 bis 1970), formuliert etwa:

Ich bin überzeugt, dass man ein System wirklich nur *verstehen* kann, wenn man eben auf einer hierarchisch gesehen relativ hohen Ebene ansetzt. Ich kann einen Fischeschwarm nicht *verstehen* oder eine Ameisensozietät, wenn ich nur hergehe und Molekularbiologie und Genetik mache. Da kann ich wichtige Aspekte *verstehen*. Überhaupt keine Frage. Und ich muss das auch *anwenden* heutzutage. Wir haben auch Röntgenanalyse und was weiß ich was alles angewandt, um einzelne Sensoren zu untersuchen. Aber *verstanden, den wirklichen Witz des Prinzips* haben wir erst verstanden, als wir das zum Verhalten in Bezug gesetzt haben. Zum Verhalten im Biotop. (Interview 35)

Für ihn ist der Unterschied zwischen dem Verständnis des Systems und dem Verständnis eines Aspektes dieses Systems ebenso wesentlich wie der Unterschied zwischen dem Verständnis einer Funktion und dem Verständnis davon, was der „Witz des Prinzips“ ist. Dieser „Witz des Prinzips“ wird erst im Kontext des Verhaltens eines Organismus im Biotop verständlich. Damit verbunden ist eine gewisse Wertbeimessung, eine Unterscheidung zwischen sozusagen „kleinem Verständnis“ und „großem Verständnis“.

Eine weitere Generation früher (Jahrgang ca. 1920) wird bereits der Verständigungsakt zwischen Interviewerin und Interviewpartner prekär, so unterschiedlich gerät das Verständnis des Verstehens. Verstehen, Sinnsuche und Wundern scheinen ganz nahe beieinanderzuliegen, Verstehen und Beschreiben verschmelzen im Topos des „Sehens“ und an die Stelle des mechanistischen Konzepts des Systems tritt das Konzept der Gestalt.²¹ Das Wesentliche ist noch an das lebendige Wesen geknüpft:

Was zum Leben gehört, ist so kompliziert und so empfindlich und setzt so viele Gesetze voraus, die alle. .. Wer hat sich das alles ausgedacht? Wo kommen die. .. Das sind ja Gedanken. Wo stammen die her? (...) Was sind [diese modernen Systembiologen] für Simpel [=einfache Geister]! Na, das sind wirklich Leute, die haben von Biologie keine Ahnung. Das merkt man ganz deutlich. (...) Daran merkt man, dass das ein Chemiker ist, der macht halt ein paar Reaktionen, und die sieht er auch, und dann glaubt er, er hat was Wesentliches gesehen. Er hat natürlich nichts Wesentliches. (...) Nein, das Leben ist in ganz anderen Dimensionen zu betrachten. Und mit ganz anderen Augen. Ich habe es ja ein bisschen an dem Wort Gestaltbildung aufgehängt. Wenn das nicht in die Köpfe kommt, dann haben die sich überhaupt noch nie ein Lebewesen angeschaut. Oder ist das für die selbstverständlich, dass das so. (...) Na, das ist wirklich (...) ein grundsätzlicher Fehler. (...) Wenn man eine Maus sezziert, einen Regenwurm, einen Skorpion – dann ist man schon ganz bedepert [= erstaunt]. Perfekt! An dem Skorpion finden Sie nichts, was nicht skorpionig ist. An dem Regenwurm ist alles würmig. Wie. (...) wer hat das gemacht? Es kommt automatisch die persönliche Frage, wer hat das gemacht? (...) Die billige Ausrede ist der Schöpfer, nicht? Das reicht für einen gescheiten Menschen natürlich nicht. (Interview 29)

Diese drei Interviewsequenzen sehr unterschiedlicher Interviewpartner bedürfen freilich eingehender interpretativer Anstrengungen, will man sie methodisch vergleichen. Dies soll Thema einer eigenen Abhandlung an anderer Stelle sein. An diesem Punkt der Argumentation soll es genügen sie zu Illustrationszwecken dafür einzusetzen, wie weit Orientierungen an Verstehen voneinander entfernt sein können und wie diese je eigenen Konzeptionen von Verstehen auch unterschiedlich geeignet sind um sie an Interventions- und letztlich Konstruktionsziele zu koppeln.

Neue Handlungsorientierungen in der Wissenschaft sind letztlich wiederum an eine Neujustierung der gesellschaftlichen Funktionszuweisung von Forschung gekoppelt, die zunehmend auf die Weiterentwicklung von konkurrenzstarken Innovationssystemen abzielt. Dabei werden alternative Ziele (etwa Erkenntnisgewinn als Kultivierung oder Eckstein einer offenen Gesellschaft) keineswegs explizit verabschiedet und andere Ziele als scheinbar friktionslose Ergänzungsoption angeführt (darunter als Dauerbrenner missionsorientiert Forschung: Kampf gegen Krebs, Epidemien, Altersdegeneration und Zivilisationskrankheiten, Lösung des Welthungerproblems, Verhinderung des Klimawandels).

²¹ Zugleich wird Emergenz undenkbar und damit die Nivellierung der Differenz zwischen der Lebenswissenschaft Biologie und den Naturwissenschaften Physik und Chemie. Dem Interviewpartner bleibt in Abwesenheit einer vitalistischen Erklärung nur noch die wiederholte Referenz auf einen Schöpfer, den er sich als Wissenschaftler wiederum zu negieren gezwungen sieht.

7 Zusammenfassung und Diskussion: die stille Revolution der revolutionären Technowissenschaften

Es war Ziel dieser Skizze fundamentale Verschiebungen im Gefüge von Praxis, Organisation und Diskurs in den Biowissenschaften des 21. Jahrhunderts an den Beispielen Systembiologie und Synthetische Biologie zu umreißen und auch auf deren wechselseitige Verknüpfung zu verweisen. Zum Teil sind dies Verschiebungen, die schon weitaus früher für die Physik unter dem Stichwort „*Big Science*“ beschrieben wurden und die weiterhin unter den Konzepten der Technowissenschaft und der post-akademischen Forschung diskutiert werden. Zum Teil treten in diesem biowissenschaftlichen und rezenten Kontext auch wesentliche Spezifika hervor. Die einzelnen Aspekte im Detail zu diskutieren, kann an dieser Stelle hingegen nicht geleistet werden. Abschließend bleibt aber noch zumindest punktuell darauf zu verweisen, welche Relevanzen diesen Verschiebungen zukommen.

Bereits in der Einleitung wurde auf den Zusammenhang zwischen diesen Verschiebungen und einem diffusen gesellschaftlichen Unwohlsein mit der gegenwärtigen Verfasstheit der Wissenschaft bzw. auch mit konkreten Bestrebungen der Änderung des Gefüges der Governance von Wissenschaft hingewiesen. Bislang scheinen aber besonders jene Bestrebungen, die auf fundamentale Änderungen reagieren wollen, ins Leere zu laufen. Es fehlt an erfolgreichen radikal neuen Modellen der Regulierung von Forschung wie auch einer Beteiligung von Gesellschaft an Forschung. Zumindest aus meiner Perspektive erscheinen neue Fördermodelle, wie jenes der paradigm-orientierten *Responsible Research and Innovation* der EU oder neue „direkte“ Beteiligungsmodelle der großen Partizipationsprojekte, zwar in ihrer Motivation und Zielrichtung nachvollziehbar, in ihrer Durchführung und Wirkmächtigkeit aber unausgegoren. Zugleich scheint es die Wissenschaftspolitik der Gesellschaft nicht zuzutrauen die Konstitution gegenwärtiger Wissenschaft und Wissenschaftspolitik grundlegender zu diskutieren.

In der Technikfolgenabschätzung (TA) als einem Akteursfeld der Governance von Forschung und Entwicklung finden sich auch bereits punktuelle Reaktionen auf den grundlegenden Wandel. Nach einer kurzen Phase der Rede von Science Assessment (vgl. Gill 1994) ist neuerdings die Rede von Vision Assessment und hermeneutischer TA (vgl. Grin und Grunwald 2000, Grunwald 2013), das die visionären Aspekte des wissenschafts(politischen) Diskurses ernst nimmt und selbst zum Thema macht (vgl. auch Lösch et al. 2019). Es wird für ein solches Unterfangen essentiell sein, das Gesamtgefüge von Forschungspraxis, -organisation und -diskurs nicht aus dem Blick zu verlieren (vgl. auch Kastenhofer 2010).

Für die Analyse von Wissenschaft in der Wissenschaftsforschung ist die zunehmende und veränderte Bedeutung der visionären Ebene gleichfalls bedeutsam. Nicht nur, dass die Analyse dieser Ebene bereits ein vielversprechendes Gebiet der Wissenschaftsforschung darstellt (vgl. Nordmann 2015), auch in traditionelleren Ansätzen der Wissenschaftsphilosophie ist eine verstärkte Beachtung der (nunmehr deutlich pluralen) Orientierung von Forschungshandeln vielversprechend. Einerseits können unterschiedliche epistemische Ziele vergleichend in den Blick genommen werden (vgl. etwa Brigandt 2010), andererseits auch unterschiedliche alternative Zielsetzungen (epistemische, technische, etc., vgl. Kastenhofer und Schmidt 2011) und gesellschaftliche Rollenzuweisungen (Kultivierung, Innovation, Problemlösung, etc., vgl. auch Pickstone 2001).

8 Literatur

- Aumann, P., 2011, Die Automatisierung des Denkens, Sehens und Hörens. Kybernetik und Bionik als alte Neue Technologien, in: Kehrt, C., Schüßler, P., Weitze M.-D. (Eds.): *Neue Technologien in der Gesellschaft. Akteure, Erwartungen, Kontroversen und Konjunkturen*, Bielefeld: transcript, 207-222.
- Bensaude Vincent, B., 2013, Discipline-building in synthetic biology, *Studies in History and Philosophy of Science Part C: Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences* 44(2), 122-129.
- Blümel 2011, Dynamiken förderpolitischen Wandels in der Nanotechnologie, in: Kehrt, C., Schüßler, P., Weitze M.-D. (Eds.): *Neue Technologien in der Gesellschaft. Akteure, Erwartungen, Kontroversen und Konjunkturen*, Bielefeld: transcript, 287-302.
- Brigandt, I., 2010, The epistemic goal of a concept: accounting for the rationality of semantic change and variation, *Synthese* 177(1), 19-40.
- Calvert, J., 2008, The Commodification of Emergence: Systems Biology, Synthetic Biology and Intellectual Property, *BioSocieties* 3, 383-398.
- Calvert, J., 2013, Engineering Biology and Society: Reflections on Synthetic Biology, *Science, Technology & Society* 18(3), 405-420.
- De Chadarevian, S. und Kamminga, H. (Hrsg.), 1988, *Molecularizing Biology and Medicine. New Practices and Alliances, 1910s-1970s*, Amsterdam: Harwood Academic Publishers.
- Demeritt, D., 2000, The New Social Contract for Science: Accountability, Relevance, and Value in US and UK Science and Research Policy, *Antipode* 32(3), 308-329.
- Forman, P., 2007, The Primacy of Science in Modernity, of Technology in Postmodernity, and of Ideology in the History of Technology, *History and Technology* 23(1/2), 1-152.
- Gibbons, M., 1999, Science's new social contract with society, *Nature Supp* 402(Supp Dec 1999), C81-C84.
- Gill, B., 1994, Die Vorverlegung der Folgenerkenntnis. Science Assessment als Selbstreflexion der Wissenschaft, *Soziale Welt* 45(4), 430-454.
- Guston, D. H., 2000, *Between Politics and Science. Assuring the Integrity and Productivity of Research*, Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Grin, J. und Grunwald, A. (Hrsg.), 2000, *Vision Assessment: Shaping Technology in 21st Century Society*, Heidelberg: Springer.
- Grunwald, A., 2013, Techno-visionary Sciences: Challenges to Policy Advice, *Science, Technology & Innovation Studies* 9(2), 21-38.
- Hacking, I., 1983, *Representing and Intervening*, New York: Cambridge University Press.
- Kastenhofer, K., 2010, Do we need a specific kind of technoscience assessment? Taking the convergence of science and technology seriously, *Poiesis & Praxis* 7(1-2), 37-54.
- Kastenhofer, K., 2013a, Two sides of the same coin? The (techno)epistemic cultures of systems and synthetic biology, *Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences* 44(2), 130-140.
- Kastenhofer, K., 2013b, Synthetic biology as understanding, control, construction and creation? Techno-epistemic and socio-political implications of different stances in talking and doing technoscience, *Futures* 48, 13-22.

- Kastenhofer, K. und Molyneux-Hodgson, S. (Hrsg.), 2020 im Erscheinen, *Community and Identity in Contemporary Technosciences*, Sociology of the Sciences Yearbook Series, Springer.
- Kastenhofer, K. und Novy, K., 2018, Vom Wissen zum Können, vom Lehren zum Forschen? Der Wandel biologischer Wissenschaftskultur am Universitätsstandort Wien. *ITA manu:script*, 18(1).
- Kastenhofer, K. und Schmidt, J. C., 2011, 'Technosciantia est Potentia'? Contemplative, interventionist, constructionist and creationist idea(l)s in technoscience, *Poiesis & Praxis* 8(2-3), 125-149.
- Kastenhofer, K., Torgersen, H., Klein, F. und Klement, L.-L., 2012, *Systems Biology in Austria 2011. The establishment of a new field in a national context* (project report), commissioned by: Institute of Technology Assessment, Vienna: Institute of Technology Assessment (ITA) <<http://epub.oew.ac.at/ita/ita-projektberichte/e2-2c28.pdf>>.
- Lösch, A., et al., 2019, Technology Assessment of Socio-Technical Futures – A Discussion Paper, in: Lösch, A., Grunwald, A., Meister, M. und Schulz-Schaeffer, I. (Hg.): *Socio-Technical Futures Shaping the Present: Empirical Examples and Analytical Challenges*, Wiesbaden: Springer VS, 285-305.
- Lubchenco, J., 1998, Entering the Century of the Environment: A New Social Contract for Science, *Science* 279(23 January), 491-497.
- Nature Biotechnology 2009: What's in a name?, *Nature Biotechnology* 27(12), 1071-1073.
- Nordmann, A., 2015, Synthetic Biology at the Limits of Science, in: Giese, B., Pade, C., Wigger, H. und Von Gleich, A. (Eds): *Synthetic Biology: Character and Impact*, Berlin: Springer, 31-58.
- Nordmann, A., Radder, H. und Schiemann, G. (Hrsg.), 2014, *Strukturwandel der Wissenschaft: Positionen zum Epochenbruch*, Weilerswist: Velbrück.
- Paddon, C. J. und Keasling, J. D., 2014, Semi-synthetic artemisinin: a model for the use of synthetic biology in pharmaceutical development, *Nat Rev Micro* 12(5), 355-367.
- Pickstone, J. V., 2001, *Ways of Knowing. A New History of Science, Technology, and Medicine*, Chicago: University of Chicago Press.
- Powell, A., O'Malley, M., Müller-Wille, S., Calvert, J. und Dupré, J., 2007, Disciplinary baptisms: a comparison of the naming stories of genetics, molecular biology, genomics, and systems biology, *History and Philosophy of the Life Sciences* 29(1), 5-32.
- Rai, A. und Boyle, J., 2007, Synthetic Biology: Caught between Property Rights, the Public Domain, and the Commons, *PLoS Biol* 5(3), 389-393.
- Shorett, P., Rabinow, P. und Billings, P. R., 2003, The changing norms of the life sciences, *Nature Biotechnology* 21(2), 123-125.
- B.J. Strasser, B. J., 2002, Institutionalizing molecular biology in post-war Europe: a comparative study, *Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences* 33, 515-546.
- Thiel, K., 2006, Systems Biology, Incorporated?, *Nature Biotechnology* 24(9), 1055-1057.
- Vermeulen, N., 2009, *Supersizing science. On building large-scale research projects in biology*, Maastricht: Maastricht University Press.
- Vermeulen, N., 2011, Growing a cell in silico. On how the creation of a bio-object transforms the organisation of science, in: Vermeulen, N., Tamminen, S. and Webster, A. (Eds): *Bio-Objects. Life in the 21st Century*, Aldershot: Ashgate, 171-186.
- Vermeulen, N., Parker, J. N. und Penders, B., 2010, Big, small or mezzo?, *EMBO reports* 11(6), 420-423

- Vermeulen, N., Parker, J. N. und Penders, B., 2013, Understanding life together: A brief history of collaboration in biology, *Endeavour* 37(3), 162-171
- Winickoff, D. E. und Neumann, L. B., 2005, Towards a Social Contract for Genomics: Property and the Public in The 'Biotrust' Model, *Genomics, Society and Policy* 1(3), 8-21.
- Whitley, R., Gläser, J. und Engwall, L. (Hrsg.), 2010, *Reconfiguring Knowledge Production: Changing Authority Relationships in the Sciences and their Consequences for Intellectual Innovation*, Oxford: Oxford University Press.

Seit 2003 erschienene manu:scripte

- ITA-03-01 Jörg Flecker und Sabine Kirschenhofer (01/2003): IT verleiht Flügel? Aktuelle Tendenzen der räumlichen Verlagerung von Arbeit. <www.oeaw.ac.at/ita/pdf/ita_03_01.pdf>
- ITA-03-02 Gunther Tichy (11/2003): Die Risikogesellschaft – Ein vernachlässigtes Konzept in der europäischen Stagnationsdiskussion. <www.oeaw.ac.at/ita/pdf/ita_03_02.pdf>
- ITA-03-03 Michael Nentwich (11/2003): Neue Kommunikationstechnologien und Wissenschaft – Veränderungspotentiale und Handlungsoptionen auf dem Weg zur Cyber-Wissenschaft. <www.oeaw.ac.at/ita/pdf/ita_03_03.pdf>
- ITA-04-01 Gerd Schienstock (1/2004): Finnland auf dem Weg zur Wissensökonomie – Von Pfadabhängigkeit zu Pfadentwicklung. <www.oeaw.ac.at/ita/pdf/ita_04_01.pdf>
- ITA-04-02 Gunther Tichy (6/2004): Technikfolgen-Abschätzung: Entscheidungshilfe in einer komplexen Welt. <www.oeaw.ac.at/ita/pdf/ita_04_02.pdf>
- ITA-04-03 Johannes M. Bauer (11/2004): Governing the Networks of the Information Society – Prospects and limits of policy in a complex technical system. <www.oeaw.ac.at/ita/pdf/ita_04_03.pdf>
- ITA-04-04 Ronald Leenes (12/2004): Local e-Government in the Netherlands: From Ambitious Policy Goals to Harsh Reality. <www.oeaw.ac.at/ita/pdf/ita_04_04.pdf>
- ITA-05-01 Andreas Krisch (1/2005): Die Veröffentlichung des Privaten – Mit intelligenten Etiketten vom grundsätzlichen Schutz der Privatsphäre zum Selbstschutz-Prinzip. <www.oeaw.ac.at/ita/pdf/ita_05_01.pdf>
- ITA-05-02 Petra Grabner (12/2005): Ein Subsidiaritätstest – Die Errichtung gentechnikfreier Regionen in Österreich zwischen Anspruch und Wirklichkeit. <pub.oeaw.ac.at/ita/ita-manuscript/ita_05_02.pdf>
- ITA-05-03 Eva Buchinger (12/2005): Innovationspolitik aus systemtheoretischer Sicht – Ein zyklisches Modell der politischen Steuerung technologischer Innovation. <www.oeaw.ac.at/ita/pdf/ita_05_03.pdf>
- ITA-06-01 Michael Latzer (6/2006): Medien- und Telekommunikationspolitik: Unordnung durch Konvergenz – Ordnung durch Mediamatikpolitik. <pub.oeaw.ac.at/ita/ita-manuscript/ita_06_01.pdf>
- ITA-06-02 Natascha Just, Michael Latzer, Florian Saurwein (9/2006): Communications Governance: Entscheidungshilfe für die Wahl des Regulierungsarrangements am Beispiel Spam. <pub.oeaw.ac.at/ita/ita-manuscript/ita_06_02.pdf>
- ITA-06-03 Veronika Gaube, Helmut Haberl (10/2006): Sozial-ökologische Konzepte, Modelle und Indikatoren nachhaltiger Entwicklung: Trends im Ressourcenverbrauch in Österreich. <pub.oeaw.ac.at/ita/ita-manuscript/ita_06_03.pdf>
- ITA-06-04 Maximilian Fochler, Annina Müller (11/2006): Vom Defizit zum Dialog? Zum Verhältnis von Wissenschaft und Öffentlichkeit in der europäischen und österreichischen Forschungspolitik. <pub.oeaw.ac.at/ita/ita-manuscript/ita_06_04.pdf>
- ITA-06-05 Holger Floeting (11/2006): Sicherheitstechnologien und neue urbane Sicherheitsregimes. <pub.oeaw.ac.at/ita/ita-manuscript/ita_06_05.pdf>
- ITA-06-06 Armin Spök (12/2006): From Farming to „Pharming“ – Risks and Policy Challenges of Third Generation GM Crops. <pub.oeaw.ac.at/ita/ita-manuscript/ita_06_06.pdf>
- ITA-07-01 Volker Stelzer, Christine Rösch, Konrad Raab (3/2007): Ein integratives Konzept zur Messung von Nachhaltigkeit – das Beispiel Energiegewinnung aus Grünland. <pub.oeaw.ac.at/ita/ita-manuscript/ita_07_01.pdf>
- ITA-07-02 Elisabeth Katzlinger (3/2007): Big Brother beim Lernen: Privatsphäre und Datenschutz in Lernplattformen. <pub.oeaw.ac.at/ita/ita-manuscript/ita_07_02.pdf>
- ITA-07-03 Astrid Engel, Martina Erlemann (4/2007): Kartierte Risikokonflikte als Instrument reflexiver Wissenspolitik. <pub.oeaw.ac.at/ita/ita-manuscript/ita_07_03.pdf>
- ITA-07-04 Peter Parycek (5/2007): Gläserne Bürger – transparenter Staat? Risiken und Reformpotenziale des öffentlichen Sektors in der Wissensgesellschaft. <pub.oeaw.ac.at/ita/ita-manuscript/ita_07_04.pdf>
- ITA-07-05 Helge Torgersen (7/2007): Sicherheitsansprüche an neue Technologien – das Beispiel Nanotechnologie. <pub.oeaw.ac.at/ita/ita-manuscript/ita_07_05.pdf>
- ITA-07-06 Karen Kastenhofer (9/2007): Zwischen „schwacher“ und „starker“ Interdisziplinarität. Die Notwendigkeit der Balance epistemischer Kulturen in der Sicherheitsforschung zu neuen Technologien. <pub.oeaw.ac.at/ita/ita-manuscript/ita_07_06.pdf>
- ITA-07-07 Ralf Lindner, Michael Friedewald (9/2007): Gesellschaftliche Herausforderungen durch „intelligente Umgebungen. Dunkle Szenarien als TA-Werkzeug. <pub.oeaw.ac.at/ita/ita-manuscript/ita_07_07.pdf>
- ITA-07-08 Alfons Bora (11/2007): Die disziplinären Grundlagen der Wissenschaft. <pub.oeaw.ac.at/ita/ita-manuscript/ita_07_08.pdf>
- ITA-08-01 Alexander Degelsegger (5/2008): „Frames“ in sozialwissenschaftlichen Theorieansätzen. Ein Vergleich aus der Perspektive der Technikforschung. <pub.oeaw.ac.at/ita/ita-manuscript/ita_08_01.pdf>
- ITA-08-02 Jens Hoff (11/2008): Can The Internet Swing The Vote? Results from a study of the 2007 Danish parliamentary election. <pub.oeaw.ac.at/ita/ita-manuscript/ita_08_02.pdf>
- ITA-09-01 Georg Aichholzer, Doris Allhutter (2/2009): e-Participation in Austria: Trends and Public Policies. <pub.oeaw.ac.at/ita/ita-manuscript/ita_09_01.pdf>
- ITA-09-02 Michael Nentwich (11/2009): Cyberscience 2.0 oder 1.2? Das Web 2.0 und die Wissenschaft. <pub.oeaw.ac.at/ita/ita-manuscript/ita_09_02.pdf>
- ITA-09-03 Hilmar Westholm (12/2009): Wandel der Formen politischer Partizipation und der Beitrag des Internet. Schlussfolgerungen aus Bevölkerungsbefragungen in Deutschland. <pub.oeaw.ac.at/ita/ita-manuscript/ita_09_03.pdf>
- ITA-10-01 Iris Eisenberger (12/2010): Kleine Teile, große Wirkung? Nanotechnologieregulierung in der Europäischen Union. <pub.oeaw.ac.at/ita/ita-manuscript/ita_10_01.pdf>

- ITA-10-02 Alexander Degelsegger and Helge Torgersen (12/2010): Instructions for being unhappy with PTA. The impact on PTA of Austrian technology policy experts' conceptualisation of the public. <[epub.oeaw.ac.at/ita/ita-manuscript/ita_10_02.pdf](http://pub.oeaw.ac.at/ita/ita-manuscript/ita_10_02.pdf)>
- ITA-10-03 Ernest Braun (12/2010): The Changing Role of Technology in Society. <[epub.oeaw.ac.at/ita/ita-manuscript/ita_10_03.pdf](http://pub.oeaw.ac.at/ita/ita-manuscript/ita_10_03.pdf)>
- ITA-10-04 Fritz Betz (12/2010): E-Partizipation und die Grenzen der Diskursethik. <[epub.oeaw.ac.at/ita/ita-manuscript/ita_10_04.pdf](http://pub.oeaw.ac.at/ita/ita-manuscript/ita_10_04.pdf)>
- ITA-11-01 Peter Parycek, Judith Schoßböck (1/2011): Transparency for Common Good. Offener Zugang zu Information im Kontext gesellschaftlicher und strategischer Spannungsfelder. <[epub.oeaw.ac.at/ita/ita-manuscript/ita_11_01.pdf](http://pub.oeaw.ac.at/ita/ita-manuscript/ita_11_01.pdf)>
- ITA-11-02 Georg Aichholzer und Doris Allhutter (6/2011): Online forms of political participation and their impact on democracy. <[epub.oeaw.ac.at/ita/ita-manuscript/ita_11_02.pdf](http://pub.oeaw.ac.at/ita/ita-manuscript/ita_11_02.pdf)>
- ITA-11-03 Mahshid Sotoudeh, Walter Peissl, Niklas Gudowsky, Anders Jacobi (12/2011): Long-term planning for sustainable development. CIVISTI method for futures studies with strong participative elements. <[epub.oeaw.ac.at/ita/ita-manuscript/ita_11_03.pdf](http://pub.oeaw.ac.at/ita/ita-manuscript/ita_11_03.pdf)>
- ITA-12-01 Xiao Ming (1/2012): e-Participation in Government Decision-Making in China. Reflections on the Experience of Guangdong Province. <[epub.oeaw.ac.at/ita/ita-manuscript/ita_12_01.pdf](http://pub.oeaw.ac.at/ita/ita-manuscript/ita_12_01.pdf)>
- ITA-12-02 Stephan Bröchler, Georg Aichholzer, Petra Schaper-Rinkel (Hrsg.) (9/2012): Theorie und Praxis von Technology Governance. <[epub.oeaw.ac.at/ita/ita-manuscript/ita_12_02_Sondernummer.pdf](http://pub.oeaw.ac.at/ita/ita-manuscript/ita_12_02_Sondernummer.pdf)>
- ITA-12-03 Iris Eisenberger (10/2012): EU-Verhaltenskodex Nanotechnologie: Rechtsstaatliche und demokratische Aspekte. <[epub.oeaw.ac.at/ita/ita-manuscript/ita_12_03.pdf](http://pub.oeaw.ac.at/ita/ita-manuscript/ita_12_03.pdf)>
- ITA-12-04 Julia Haslinger, Christiane Hauser, Peter Hocke, Ulrich Fiedeler (10/2012): Ein Teilerfolg der Nanowissenschaften? Eine Inhaltsanalyse zur Nanoberichterstattung in repräsentativen Medien Österreichs, Deutschlands und der Schweiz. <[epub.oeaw.ac.at/ita/ita-manuscript/ita_12_04.pdf](http://pub.oeaw.ac.at/ita/ita-manuscript/ita_12_04.pdf)>
- ITA-13-01 Helge Torgersen, Alexander Bogner, Karen Kastenhofer (10/2013): The Power of Framing in Technology Governance: The Case of Biotechnologies. <[epub.oeaw.ac.at/ita/ita-manuscript/ita_13_01.pdf](http://pub.oeaw.ac.at/ita/ita-manuscript/ita_13_01.pdf)>
- ITA-13-02 Astrid Mager (11/2013): In search of ideology. Socio-cultural dimensions of Google and alternative search engines. <[epub.oeaw.ac.at/ita/ita-manuscript/ita_13_02.pdf](http://pub.oeaw.ac.at/ita/ita-manuscript/ita_13_02.pdf)>
- ITA-13-03 Petra Wächter (12/2013): Aspekte einer nachhaltigen Energiezukunft. <[epub.oeaw.ac.at/ita/ita-manuscript/ita_13_03.pdf](http://pub.oeaw.ac.at/ita/ita-manuscript/ita_13_03.pdf)>
- ITA-14-01 Renate Mayntz (8/2014): Technikfolgenabschätzung – Herausforderungen und Grenzen. <[epub.oeaw.ac.at/ita/ita-manuscript/ita_14_01.pdf](http://pub.oeaw.ac.at/ita/ita-manuscript/ita_14_01.pdf)>
- ITA-14-02 Michael Narodoslowsky (11/2014): Utilising Bio-resources: Rational Strategies for a Sustainable Bio-economy. <[epub.oeaw.ac.at/ita/ita-manuscript/ita_14_02.pdf](http://pub.oeaw.ac.at/ita/ita-manuscript/ita_14_02.pdf)>
- ITA-14-03 Petra Wächter (12/2014): Ökonomik in der Technikfolgenabschätzung – eine Bestandsaufnahme. <[epub.oeaw.ac.at/ita/ita-manuscript/ita_14_03.pdf](http://pub.oeaw.ac.at/ita/ita-manuscript/ita_14_03.pdf)>
- ITA-15-01 Reinhard Grünwald (5/2015): Stromnetze: Bedarf, Technik, Folgen. <[epub.oeaw.ac.at/ita/ita-manuscript/ita_15_01.pdf](http://pub.oeaw.ac.at/ita/ita-manuscript/ita_15_01.pdf)>
- ITA-15-02 Christine Chaloupka, Robert Kölbl, Wolfgang Loibl, Romain Molitor, Michael Nentwich, Stefanie Peer, Ralf Risser, Gerd Sammer, Bettina Schützhofer, Claus Seibt (6/2015): Nachhaltige Mobilität aus sozioökonomischer Perspektive – Diskussionspapier der Arbeitsgruppe „Sozioökonomische Aspekte“ der ÖAW-Kommission „Nachhaltige Mobilität“. <[epub.oeaw.ac.at/ita/ita-manuscript/ita_15_02.pdf](http://pub.oeaw.ac.at/ita/ita-manuscript/ita_15_02.pdf)>
- ITA-15-03 Sabine Pfeiffer (10/2015): Auswirkungen von Industrie 4.0 auf Aus- und Weiterbildung. <[epub.oeaw.ac.at/ita/ita-manuscript/ita_15_03.pdf](http://pub.oeaw.ac.at/ita/ita-manuscript/ita_15_03.pdf)>
- ITA-15-04 Sabine Pfeiffer (11/2015): Effects of Industry 4.0 on vocational education and training. <[epub.oeaw.ac.at/ita/ita-manuscript/ita_15_04.pdf](http://pub.oeaw.ac.at/ita/ita-manuscript/ita_15_04.pdf)>
- ITA-16-01 Lorenzo Del Savio, Alena Buyx & Barbara Prainsack (3/2016): Opening the black box of participation in medicine and healthcare. <[epub.oeaw.ac.at/ita/ita-manuscript/ita_16_01.pdf](http://pub.oeaw.ac.at/ita/ita-manuscript/ita_16_01.pdf)>
- ITA-16-02 Michael Nentwich (10/2016): Parliamentary Technology Assessment Institutions and Practices. <[epub.oeaw.ac.at/ita/ita-manuscript/ita_16_02.pdf](http://pub.oeaw.ac.at/ita/ita-manuscript/ita_16_02.pdf)>
- ITA-17-01 Helge Torgersen (3/2017): Neuroenhancement – (k)ein TA-Thema? <[epub.oeaw.ac.at/ita/ita-manuscript/ita_17_01.pdf](http://pub.oeaw.ac.at/ita/ita-manuscript/ita_17_01.pdf)>
- ITA-18-01 Karen Kastenhofer, Katharina Novy (6/2018): Vom Wissen zum Können, vom Lehren zum Forschen? Der Wandel biologischer Wissenschaftskultur am Universitätsstandort Wien. <[epub.oeaw.ac.at/ita/ita-manuscript/ita_18_01.pdf](http://pub.oeaw.ac.at/ita/ita-manuscript/ita_18_01.pdf)>
- ITA-18-02 Elias Moser (10/2018): Normative Leitbilder in der Technikfolgenabschätzung. <[epub.oeaw.ac.at/ita/ita-manuscript/ita_18_02.pdf](http://pub.oeaw.ac.at/ita/ita-manuscript/ita_18_02.pdf)>
- ITA-19-01 Michael Nentwich, Wilfried Jäger, Gerhard Embacher-Köhle und Jaro Krieger-Lamina (06/2019): Kann es eine digitale Souveränität Österreichs geben? Herausforderungen für den Staat in Zeiten der digitalen Transformation. <[epub.oeaw.ac.at/ita/ita-manuscript/ita_19_01.pdf](http://pub.oeaw.ac.at/ita/ita-manuscript/ita_19_01.pdf)>
- ITA-20-01 Karen Kastenhofer (06/2019): Emergierende Technowissenschaften. Am Beispiel von Systembiologie und Synthetischer Biologie. <[epub.oeaw.ac.at/ita/ita-manuscript/ita_19_01.pdf](http://pub.oeaw.ac.at/ita/ita-manuscript/ita_19_01.pdf)>