

Zur geographischen Spezifizierung soziotechnischer Systeme

Energiewende zwischen lokaler Verankerung und globaler Vernetzung

von Bernhard Truffer, Eawag, Dübendorf, Schweiz

Die nachhaltige Transition soziotechnischer Systeme hat in den letzten zwanzig Jahren in der wissenschaftlichen Literatur zunehmend Aufmerksamkeit erhalten. Das analytische Kerninteresse bildet dabei die ko-evolutionäre Entwicklung technologischer und institutioneller Strukturen sowie der Wandel hin zu neuen, potenziell nachhaltigeren soziotechnischen Systemen. Die Transitionsforschung bietet damit einen vielversprechenden Ansatz für die wissenschaftliche Untersuchung der Energiewende in Deutschland. Ein wichtiger Aspekt, der bislang eher vernachlässigt wurde, betrifft die räumliche Dimension von Transitionen. Der vorliegende Artikel referiert auf aktuelle wissenschaftliche Debatten zur „Transitionsgeographie“ und illustriert diese an empirischen Beispielen. Daraus leiten sich Forschungsfragen für die Energiewende ab.

1 Die Notwendigkeit einer „Geographie der Energiewende“

Die Infragestellung deterministischer Erklärungsansätze der Technikentwicklung hat seit den 1980er Jahren zur Formulierung einer breiten Reihe von sozialkonstruktivistischen Ansätzen geführt (Bijker et al. 1987; Dierkes/Hoffmann 1992; Rosenberg 1994; Callon 1998; Truffer 2008). Parallel dazu wurde die Formierung von technologischen Systemen auch in der Ökonomie aus neuen, nicht-mechanistischen Perspektiven untersucht (Nelson/Winter 1982; Dosi et al. 1988). Industrieformierungsprozesse im Umfeld neuer Technologien erwiesen sich in beiden Traditionen als fruchtbare Forschungsfelder. Insbesondere die gegenseitige Beeinflussung von materiellen Formen und gesellschaftlichen Strukturen wurde ins Zentrum der Analyse gestellt. Dementsprechend verläuft die Ausgestaltung einer Technologie weder ausschließlich aufgrund ihrer sozialen Einbettung, noch determiniert die Tech-

nologie ihr gesellschaftliches Umfeld. Vielmehr zeigt sich in der historischen Analyse, wie sich die Wahl bestimmter technologischer Optionen, die Herausbildung von Produktformen (dominante Designs), Präferenzen der Nutzenden und deren Nutzungsweise, sowie das regulatorische und symbolische Umfeld in enger gegenseitiger Abhängigkeit entwickeln (klassisch dazu etwa David 1985; Sachs 1984; Geels 2002).

Neben der historisch rekonstruktiven Anwendung dieser neuen Konzepte wurden bald problemorientierte Ansätze formuliert, die sich mit der zukunftsgerichteten Inwertsetzung und der Politikrelevanz solcher Mechanismen und Konzepte befassen (Metcalf 1995; Schot 1992; Hoogma et al. 2002). Dabei erwies sich v. a. das aufstrebende Politikfeld der Nachhaltigkeit als fruchtbares Anwendungsfeld sozialkonstruktivistischer und evolutorischer Ansätze (van den Bergh et al. 2011; Smith et al. 2010; Markard/Truffer 2008). Als Folge hat sich in den letzten Jahren eine internationale Forschungsgemeinde formiert, die sich explizit mit nachhaltigen Transitionen (d. h. der grundlegenden Umgestaltung dominanter soziotechnischer Konfigurationen) in zentralen Wirtschaftssektoren befasst (Markard et al. 2012).

Aktuell repräsentiert die deutsche Energiewende zweifellos eines der global ambitioniertesten politischen Programme zur Gestaltung einer nachhaltigen Transition im Energiesektor. Das schiere Ausmaß der Transformationen, die notwendig sein werden, um eine hoch industrialisierte Gesellschaft weg von fossilen und nuklearen Energiequellen zu führen, lässt erahnen, dass technologische Neuerungen alleine nicht ausreichen werden. Vielmehr geht es darum, Technologien und Institutionen in ihrer Interaktion zu untersuchen und damit die Entstehung neuer soziotechnischer Regime in den Blick zu bekommen. Die konzeptionellen und methodischen Angebote der Transitionsforschung sind also potenziell interessant für das Verständnis der anstehenden Energiewende und insbesondere auch zur Formulierung von Politikempfehlungen.

Trotz einer mittlerweile dreißigjährigen Geschichte der Theoriebildung zu soziotechnischen Transformationsprozessen, ist die Literatur noch weit entfernt, ein in sich geschlossenes Theoriegebäude darzustellen. Vielmehr existieren ver-

schiedene Erklärungsansätze, welche zur Analyse soziotechnischer Transitionen genutzt werden können. Viele konzeptionelle und methodische Fragen bedürfen jedoch einer Weiterentwicklung. Im vorliegenden Artikel soll ein Aspekt besonders beleuchtet werden, welcher in den letzten Jahren zunehmend Aufmerksamkeit erlangt hat und auch in der Debatte um die deutsche Energiewende immer mehr in den Vordergrund rückt: Inwiefern ist die Energiewende ein vorwiegend „nationales“ Projekt? Welche Bedeutung spielen lokal basierte Formierungsprozesse in der Ausgestaltung neuer soziotechnischer Konfigurationen? Können Kommunen oder Regionen, aber auch Bundesländer eine Vorreiterrolle übernehmen? Und wenn ja, wie müssen sie in nationale Prozesse eingebunden sein? Aber auch: Wie bestehen allfällige nationale Industriepolitiken in einem globalisierten Kontext der Wissensgenerierung und der Innovationsgestaltung? Welchen Einfluss haben europäische Harmonisierungsbestrebungen auf die Autonomie der Politiken einzelner Mitgliedstaaten? Und schließlich: Wie lassen sich Transitionen konzeptionell fassen und politisch begleiten, welche gleichzeitig lokale, nationale und internationale Akteure, Institutionen und Prozesse aufeinander beziehen? All diese Fragen bilden den Ausgangspunkt dessen, was zunehmend als „Transitionsgeographie“ innerhalb der Sustainability-Transitions- aber auch der Wirtschaftsgeographie diskutiert wird.

Der vorliegende Artikel umschreibt die Konturen einer Geographie der Energiewende. Zuerst wird rekonstruiert, inwiefern bislang räumliche Dimensionen in der Transitionsliteratur berücksichtigt (resp. vernachlässigt) worden sind. Danach präsentieren wir einen konzeptionellen Rahmen zur Verortung unterschiedlicher räumlicher Fragestellungen. Dies wird durch zwei empirische Beispiele aus dem Gebiet der Transitionsgeographie illustriert. Schließlich werden Schlussfolgerungen für die wissenschaftliche Begleitung der anstehenden Energiewende gezogen.

2 Zur fehlenden räumlichen Orientierung in der Transitionsforschung

Die soziotechnische Transitionsforschung hat sich bislang v. a. mit sozialen Formierungsprozessen

im Umfeld technologischer Innovationen befasst. Dabei wurden automatisch technologische oder sektorale Beziehungen und Strukturen in den Vordergrund gerückt. Die räumliche Struktur dieser Prozesse wurde eher implizit behandelt. Durch die Ausrichtung der Politikempfehlungen auf die Wissenschafts-, Technologie-, Industrie- und später Innovationspolitik, bildete die nationale Ebene in vielen Arbeiten eine nicht weiter hinterfragte Systemgrenze bzw. den Referenzrahmen (Coenen et al. 2012). Diese Kritik gilt gleichermaßen für die zwei Kernkonzepte der Transition Studies, die Multi-Level-Perspektive (MLP) und die technologischen Innovationssysteme (TIS) (Markard et al. 2012).

Diese implizite Grenzziehung lässt sich besonders eindrücklich am Beispiel der technologischen Innovationssysteme illustrieren. Die Gründungspublikation des TIS-Ansatzes (Carlsson/Stankiewicz 1991) wurde als Kritik des vorherrschenden Innovationssystemkonzeptes der späten 1980er Jahre formuliert, dem Nationalen Innovationssystem (NIS). Die Autoren monierten, dass viele NIS-Studien unhinterfragt nationale Grenzen als Systemgrenzen produktiver Innovationssysteme ansahen. Eine genauere Analyse der Systemstrukturen zeige jedoch, dass sich viele Akteure, wie etwa transnational operierende Firmen, weit über die jeweiligen Landesgrenzen hinaus orientieren. Umgekehrt würden Innovationen oft in kleinräumigen, lokalen Kontexten entwickelt, für welche der nationale institutionelle Rahmen nur eine schwach bindende Kraft darstelle. Folglich sei eine Politik, die sich vorwiegend auf nationale Strukturen beziehe, für viele technologische Systeme inadäquat. Technologische Systeme sollten deshalb zuerst entlang zentraler Akteure, Netzwerke und Institutionen identifiziert werden. Die räumliche Ausprägung der Systeme sei dann anschließend festzustellen und könne nicht *a priori* als kongruent mit den nationalen Grenzen gesetzt werden. In heutiger Lesart ist diese Kritik als typisches Plädoyer der modernen Wirtschaftsgeographie zu lesen.

Interessanterweise wurden in der Weiterentwicklung des TIS-Ansatzes Innovationsprozesse dennoch vorwiegend innerhalb nationaler Grenzen untersucht. Dies geschah einerseits, weil frühe Formierungsphasen neuer Technologien ins

Zentrum des Interesses rückten und diese sich oft in geographisch eng begrenzten Gebieten vollziehen. Andererseits blieb die Beratung nationaler Industrie- und Technologiepolitik auch beim TIS-Ansatz ein wichtiges Ziel der Forschung. Ironischerweise müssen sich deshalb die Nachfolger der TIS-Forschung zwanzig Jahre nach der Begründung des Ansatzes dieselbe Kritik gefallen lassen, die zur ursprünglichen Motivierung des Ansatzes geführt hatte (Coenen et al. 2012).

Man mag dies als verzeihbare forschungsmethodische Selbstbeschränkung sehen, die letztlich realen Bedingungen, wie etwa der Datenverfügbarkeit, geschuldet ist. Eingehende TIS-Analysen (Bergek et al. 2008) erfordern eine detaillierte und umfassende Erfassung von Akteuren und Strukturen. In einem nationalen Rahmen scheint dies eher handhabbar. Geographisch offene Untersuchungsdesigns stellen hingegen die Forschenden vor hohe methodische Herausforderungen (Binz et al. 2013/i. E.). Dieses Argument ist allerdings nur solange angebracht wie die wichtigsten Systemzusammenhänge innerhalb des ausgewählten Landes verortet bleiben. In vielen aktuellen Beispielen der Energiewende ist diese Annahme kaum mehr zu vertreten. Die Entwicklungen im deutschen Photovoltaiksektor waren vielleicht in den 1990er und 2000er Jahren noch weitgehend innerhalb der nationalen Grenzen untersuchbar. Spätestens aber mit dem Auftreten großer chinesischer Firmen als Solarpanelhersteller oder dem Zusammenbruch des spanischen Marktes und dessen Auswirkungen mussten internationale Prozesse mitbedacht werden. In anderen Technologiefeldern spielen internationale Firmen in Schwellenländern in den frühen Industrieformierungsprozessen eine herausragende Rolle, so dass ein nationaler Rahmen weder für das Verständnis von Erfolgsfaktoren noch für die Formulierung von adäquaten Politiken hinreicht (für die Abschätzung von „leap frogging“-Potenzialen z. B. Binz et al. 2012). Umgekehrt kann die Fokussierung auf einen nationalen Untersuchungsrahmen dazu führen, dass entscheidende Formierungsprozesse auf lokaler oder regionaler Ebene übersehen werden (s. Kap. 4 und ausführlicher Dewald/Truffer 2012; Jacobsson/Lauber 2006).

3 Konzeptionelle Bausteine einer Transitionsgeographie

Räumliche Aspekte von Industrieformierungsprozessen sind zentraler Untersuchungsgegenstand von Wirtschaftsgeographen und Regionalwissenschaftlern. Die Themen Umwelt und Nachhaltigkeit haben dort jedoch erst in jüngster Zeit Resonanz erhalten (Truffer/Coenen 2012). Im Vergleich zu den traditionell wertschöpfungs- und arbeitsplatzintensiven Branchen der Informations- und Kommunikationstechnologie oder der Biotechnologie galten Energietechnologien bislang als wenig interessant (Dewald 2012). Beforscht wurden höchstens die zunehmend zahlreicher werdenden Nachhaltigkeitsinitiativen von Städten und Regionen oder regionale Industriecluster, die sich mit „grüner“ Technologie oder mit industriellen Ökosystemen befassten (Truffer/Coenen 2012). In einem umfassenderen Sinne hat man sich aber kaum mit nachhaltigen Sektortransformationen auseinandergesetzt. In jüngerer Zeit scheint sich diese Interessenslage langsam zu wandeln. Damit eröffnen sich Forschungsperspektiven an der Schnittstelle zwischen Transitionsforschung und Wirtschaftsgeographie, mit denen die eingangs gestellten Fragen beantwortet werden können.

Eine entsprechende Forschungsagenda kann an den folgenden drei Dimensionen festgemacht werden (s. auch Truffer/Coenen 2012). *Erstens* sind sowohl Transitionsforschung als auch Wirtschaftsgeographie an Prozessen institutioneller Einbettung interessiert. Während die Transitionsforschung detaillierte Untersuchungen anstellt, wie sich technologische und institutionelle Charakteristika im Umfeld eines Technologiefeldes gegenseitig beeinflussen, sind Wirtschaftsgeographen und Regionalforscher stärker an der Koevolution zwischen regionalen Institutionen und industriellen Kompetenzstrukturen interessiert. Die soziotechnischen und die sozialräumlichen Sichtweisen werden nur unter der Annahme deckungsgleich, dass sich frühe Industrieformierung in klar abgegrenzten Regionen abspielt. Meist wird jedoch diese Überschneidung nicht perfekt sein. Soziotechnische und sozialräumliche Rekonstruktionen stellen dann komplementäre Perspektiven dar. Ihre Komplementarität kommt v. a. dann zum Tragen, wenn Erkenntnisse aus Entwicklungen in einer Region auf andere Regionen übertragen werden sollen. Zu

diesem Zweck müssen die regional spezifischen Bedingungen herausgearbeitet werden.

Zweitens laufen soziotechnische Formierungsprozesse selten nur innerhalb einer einzigen Region ab. Akteure können auf mehreren räumlichen Skalenebenen (lokal, regional national, international, global) gleichzeitig tätig sein. Einzelne Firmen können etwa sowohl in regionalen Produzentennetzwerken als auch in nationalen Lobbying-Initiativen aktiv sein. Erst durch das Zusammenspiel dieser Aktivitäten auf unterschiedlichen Skalenebenen wird eine erfolgreiche Industrieformierung möglich (Jacobsson/Lauber 2006). International tätige Firmen werden darauf bedacht sein, ihre Innovationskapazitäten dort aufzubauen, wo frühe Märkte entstehen und/oder wo das notwendige Know-how vorhanden ist. Die resultierenden Innovationsnetzwerke können globale Ausmaße erreichen und damit von Rahmendbedingungen unterschiedlicher Länder gleichzeitig profitieren (und diese allenfalls auch gegeneinander ausspielen). Oder auch vermeintlich klar lokalisierte Aktivitäten wie Nachhaltigkeitsprogramme einzelner Städte und Regionen können erst dadurch kritische Masse entfalten, dass sie sich innerhalb des eigenen Landes, oder gar international vernetzen und damit Druck auf nationale Rahmendbedingungen ausüben.

Drittens verknüpfen Geographen das Thema Nachhaltigkeit oft mit Macht- und Verteilungsfragen und bringen damit einen wichtigen Aspekt in den Diskurs ein (Lawhon/Murphy 2012). Nachhaltigkeit degeneriert in konkreten politischen Projekten allzu oft zu einer Leerformel zur Kaschierung von vorherrschenden Machtverhältnissen (Hodson/Marvin 2010). Die Transitionsforschung läuft damit latent Gefahr, vermeintlich nachhaltige Technologien unkritisch als förderungswürdig zu betrachten, obwohl diese massiv negative Auswirkungen auf einzelne Bevölkerungskreise zeitigen können. Als Folge werfen denn auch einige Kritiker der Transitionsforschung vor, sie sei machtpolitisch oft naiv und würde damit letztlich technikdeterministischen Ansätzen Vorschub leisten (z. B. Shove/Walker 2007).¹ Die Kritik mag in dieser Form etwas überzogen sein. Eine kritische Hinterfragung von Nachhaltigkeitsprogrammen bezüglich gesellschaftlicher Auswirkungen stellt jedoch ein legitimes Anliegen dar. Im Zusammen-

hang mit der Energiewende wird dies nicht zuletzt in der Frage der Lokalisierung von Erzeugungsanlagen (Stichwort: Verspargelung oder Vermaischung der Landschaft) angesprochen.

4 Beispiele geographisch inspirierter Transitionsforschung

In den letzten Jahren sind eine ganze Reihe transitionsgeographischer Arbeiten entstanden. Es ist an dieser Stelle nicht möglich, einen systematischen Überblick zu geben. Stattdessen sollen hier zwei illustrative Beispiele vorgestellt werden, die zeigen, welche neuen Erklärungsansätze sich durch eine kombinierte soziotechnische und sozialräumliche Analyse eröffnen.

Ein erstes Beispiel bezieht sich auf die Frage, wie sich Deutschland zum weltweit größten Markt für Photovoltaik entwickeln konnte. Die konventionelle Erklärung bezieht sich auf den *market pull*, den das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) seit Anfang der 2000er Jahre auf die Implementierung der Photovoltaik ausgeübt hat. Wie konnte es aber in Deutschland überhaupt zur Einführung eines solch potenten Förderrahmens kommen? Dewald und Truffer (2011; 2012) argumentieren, dass die Entstehung eines Marktes für ein noch inexistentes Produkt als eigentlicher sozialer Konstruktionsprozess verstanden werden muss. Potente Förderstrukturen können erst greifen, wenn diese Märkte zumindest in Ansätzen existieren.

In Deutschland haben seit den frühen 1990er Jahren verschiedene Bürgerbewegungen (insbesondere die sog. Solarbürgerinitiativen) in ihren jeweiligen Kommunen mit Versorgungs- und Förderstrukturen experimentiert und dabei erste lokale Märkte entwickelt. Die Einführung des nationalen Einspeisegesetzes wäre ohne diese Machbarkeitsbeweise auf lokaler Ebene politisch kaum mehrheitsfähig gewesen. Der soziotechnische Formierungsprozess wurde also erst „im Labor“ auf lokaler Ebene ausgetestet, bevor sich national neue soziotechnische Konfigurationen etablieren konnten. Eine rein soziotechnische Analyse würde diese lokalen Formierungsprozesse wohl übersehen. Eine rein sozialräumliche Analyse würde auf Grund der bescheidenen Wertschöpfungs- und Arbeitsplatzeffekte der frühen Formierungsphase solche Prozesse als

wenig interessant betrachten. Erst die kombinierte Sichtweise ermöglicht die Formulierung eines umfassenden Erklärungsansatzes.

Ein zweites Beispiel illustriert die kombinierte Wirkweise regionaler Einbettung und skalenübergreifender Vernetzung zwischen Akteuren noch expliziter. In einer Analyse der Industriearmierung dezentraler Abwasserreinigung in China zeigen Binz et al. (2013), dass drei Stadtregionen besonders gute Bedingungen aufwiesen: Beijing, Shanghai und Xi'an. Effektiv haben sich allerdings nur in Beijing nennenswerte Produktionsstrukturen entwickelt, obwohl Shanghai und Xi'an viel bessere Startbedingungen aufwiesen. Shanghai verfügt über eine relativ breit aufgestellte Wassertechnologiebranche und ist ein nationales Kompetenzzentrum für diesen Sektor. In Xi'an gab es einen überaus aktiven Professor an der lokalen Universität, der ein Exzellenzzentrum für dezentrale Wasseraufbereitungstechnologien aufbaute. Beijing hatte demgegenüber weder eine dichte Kompetenzstruktur noch starke Promotoren für den Aufbau einer neuen Industrie in diesem Sektor. Hingegen wurde in den 2000er Jahren ein Gesetz eingeführt, welches internationale Hotelketten verpflichtete, ihr Abwasser dezentral aufzubereiten. Dies generierte einen frühen Markt, der zunächst von internationalen Technologiefirmen bedient wurde. In der Folge entstand ein lokales Netzwerk von Firmen, welche für weitere geschützte Nischenmärkte (in Wohnsiedlungen und am ruralen Stadtrand) lobbyierten. In der Folge sind mittlerweile über 2.000 Systeme installiert worden, und es lassen sich verschiedene Indikatoren einer frühen Industriearmierung identifizieren. Das Kernargument ist auch hier, dass lokale Lern- und Formierungsprozesse stattfanden, welche die Herausbildung von reproduzierbaren soziotechnischen Konfigurationen erst ermöglichten. Zusätzlich war jedoch auch die aktive Vernetzung mit internationalen Firmen entscheidend für den Innovationserfolg.

Beide Beispiele zeigen, wie sowohl regionale Einbettung als auch die Mobilisierung von Unterstützungsprozessen über verschiedene Skalenebenen hinweg notwendig waren für den Innovationserfolg. Ferner geht es nicht bloß um das „richtige“ Setzen von Rahmenbedingungen, sondern um das Ermöglichen von systemischen

Formierungsprozessen. Eine transitionsgeographische Perspektive kann helfen, solch kritische Formierungsprozesse frühzeitig zu erkennen und in ihren Auswirkungen zu bewerten.

5 Energiewende zwischen lokaler Verankerung und globaler Vernetzung

Die wissenschaftliche Begleitung der Transformationen, die in einer Energiewende stattfinden werden, muss technologische und gesellschaftliche Prozesse in ihrer Interaktion berücksichtigen. Die soziotechnische Transitionsforschung kann hierzu relevante theoretische, methodische und empirische Kompetenzbestände bereitstellen (s. etwa Truffer et al. 2012). Sie ist aber noch weit davon entfernt, ein ausgereiftes und umfassendes Theoriegebäude anzubieten. Im vorliegenden Artikel wurde v. a. auf die Notwendigkeit einer räumlichen Ausdifferenzierung der Konzepte und Methoden hingewiesen.

Während bei früheren Untersuchungen von Industriearmierungsprozessen eine implizite Eingrenzung auf den nationalen Rahmen vertretbar war, scheint dies heute immer weniger zuzutreffen. Dies hat v. a. damit zu tun, dass sich „neue Technologien“ zunehmend in reife Industrien gewandelt haben und damit im Begriff sind, zu internationalen Exportsektoren mit entsprechender Konkurrenz heranzuwachsen. Andererseits spielen aber auch Schwellenländer verstärkt eine wichtige Rolle im globalisierten Kampf um Zukunftstechnologien und -industrien. Neben einer stärkeren Aufmerksamkeit für globalisierte Strukturen und Prozesse darf jedoch nicht vergessen werden, dass soziotechnische Formierungen oft in lokalen und regionalen Kontexten stattfinden. Lokale Initiativen müssen nicht unbedingt nur als der nationalen Ebene untergeordnet verstanden werden. Immer häufiger kommt es zu internationalen Vernetzungen lokaler und regionaler Initiativen, die damit nationale Rahmenbedingungen mitdefinieren können. Konzeptionell geht es also letztlich darum, diese geographische skalenübergreifenden Verbindungen analytisch und methodisch fassbar zu machen und damit eine Alternative zur vorherrschenden „Containersicht“ des Nationalen zu schaffen.

Was bedeutet dies nun für die Forschung im Rahmen der deutschen Energiewende? Zuerst ist die Energiewende zweifellos ein nationales Projekt, welches als solches begleitet und untersucht werden muss. Daneben sollte aber auch nicht übersehen werden, welche Rolle regionale und lokale Initiativen spielen können. In diesem Sinne könnte ein Observatorium für regionale Energiewende-Initiativen aufgebaut werden, welches – informiert durch die Konzepte soziotechnischer Formierungsprozesse – fähig wäre, Vernetzungen zu bewirtschaften und damit Synergien zu realisieren (etwa entlang der Vorschläge des Strategischen Nischenmanagements, s. Hoogma et al. 2002). Auch wenn die Gefahr besteht, dass in vielen Regionen einige Räder parallel neu erfunden werden, gibt gerade die Ko-Dynamik von Technologie- und Institutionenentwicklung Raum für Experimente.

Andererseits muss Industrieentwicklung immer auch im globalen Kontext reflektiert werden. Märkte für neue Technologien können auch weit außerhalb des Stammlandes entstehen und kritische Wachstumsimpulse generieren. Damit muss sich die nationale Industriepolitik in einem immer stärker globalisierten Umfeld verorten. Geographische Schwerpunktverschiebungen im Verlauf der Reifung von Industrien können allenfalls antizipiert, aber kaum kontrolliert werden. Die Auswirkungen der stärker werdenden chinesischen Photovoltaik-Industrie auf die deutsche Photovoltaik-Entwicklung stellen ein besonders relevantes Beispiel dafür dar. Dies weist nicht zuletzt auch auf eine notwendige Koordinierung internationaler Rahmenbedingungen für Industrieformierungsprozesse hin (Truffer 2012). Auf globaler Ebene wiederholt sich sonst das altbekannte innovationsökonomische Dilemma einer Unterversorgung mit ökologisch wünschbaren neuen Technologien.

Die Komplexität des anstehenden Transformationsprozesses in Richtung einer Energiewende mag einschüchternd wirken, geht es doch um den historischen Umbau eines Kernsektors moderner Gesellschaften und um die Erarbeitung einer zukunftsfähigeren Entwicklungsbasis für die globale Gesellschaft. Die konzeptionellen Anforderungen für das Verstehen und die aktive Begleitung dieser Veränderungsprozesse sind auf jeden Fall ausgesprochen anspruchsvoll. Auch

wenn die Forschung nicht alle Unsicherheiten auf diesem Weg beseitigen kann, so bestehen doch große Potenziale, handlungsleitende Beiträge zu leisten. In diesem Sinne werden auch transitionsgeographische Ansätze einen festen Platz in der künftigen Forschung zur Energiewende haben.

Danksagung

Der vorliegende Artikel profitierte maßgeblich von Anregungen der Schwerpunktherausgeber dieser TATuP-Ausgabe sowie von Kommentaren von Ulrich Dewald und Lea Fünfschilling.

Anmerkung

- 1) Diese Kritik entbehrt nicht einer gewissen Ironie angesichts der sozialkonstruktivistischen Ursprünge der Transitionsforschung, welche am Anfang dieses Kapitels dargelegt worden sind.

Literatur

- Bergek, A.; Jacobsson, S.; Carlsson, B. et al.*, 2008: Analyzing the Functional Dynamics of Technological Innovation Systems: A Scheme of Analysis. In: *Research Policy* 37 (2008), S. 407–429
- Bijker, W.E.; Hughes, T.P.; Pinch, T.J.*, 1987: *The Social Construction of Technological Systems*. Cambridge, MA
- Binz, C.; Truffer, B.; Li, L. et al.*, 2012: Leapfrogging in Infrastructure. Conceptualizing Leapfrogging with Spatially Coupled Innovation Systems: The Case of On-site Wastewater Treatment in China. In: *Technological Forecasting and Social Change* 79/1 (2012), S. 155–171
- Binz, C.; Truffer, B.; Coenen, L.* (2013/i. E.): Why Space Matters in Technological Innovation Systems – The Global Knowledge Dynamics of Membrane Bioreactor Technology. In: *Research Policy*
- Binz, C.; Truffer, B.; Coenen, L.*, 2013: Why Space Matters in Technological Innovation Systems – The Global Knowledge Dynamics of Membrane Bioreactor Technology. Circle Working papers Nr. 2013/11, Lund University, Sweden
- Callon, M.*, 1998: An Essay on Framing and Overflowing: Economic Externalities Revisited by Sociology. In: *Callon, M.* (Hg.): *The Laws of the Markets*. Oxford, UK, S. 244–269
- Carlsson, B.; Stankiewicz, R.*, 1991: On the Nature, Function and Composition of Technological Systems,

In: *Journal of Evolutionary Economics* 1 (1991), S. 93–118

Coenen, L.; Benneworth, P.; Truffer, B., 2012: The Geography of Transitions. Addressing the Hidden Spatial Dimension of Socio-technical Transformations. In: *Research Policy* 41/6 (2012), S. 955–967

David, P., 1985: Clio and the Economics of QWERTY. In: *American Economic Review* 75 (1985), S. 332–337

Dewald, U., 2012: Energieversorgung im Wandel – Marktformierung im deutschen Photovoltaik-Innovationssystem. Berlin

Dewald, U.; Truffer, B., 2012: The Local Sources of Market Formation: Explaining Regional Growth Differentials in German Photovoltaic Markets. In: *European Planning Studies* 20/3 (2012), S. 397–420

Dewald, U.; Truffer, B., 2011: Market Formation in Technological Innovation Systems – Diffusion of Photovoltaic Applications in Germany. In: *Industry & Innovation* 18 (2011), S. 285–300

Dierkes, M.; Hoffman, U. (Hg.), 1992: New Technology at the Outset. Social Forces in the Shaping of Technology. Frankfurt a. M.

Dosi, G.; Freeman, C.; Nelson, R. et al., 1988: Technical Change and Economic Theory. London

Geels, F.W., 2002: Technological Transitions as Evolutionary Reconfiguration Processes: A Multi-level Perspective and a Case-study. In: *Research Policy* 31/8–9 (2002), S. 1257–1274

Hodson, M.; Marvin, S., 2010: Can Cities Shape Socio-technical Transitions and How Would We Know If They Were? In: *Research Policy* 39/4 (2010), S. 477–485

Hoogma, R.; Kemp, R.; Schot, J. et al., 2002: Experimenting for Sustainable Transport. The Approach of Strategic Niche Management. London, S. 212

Jacobsson, S.; Lauber, V., 2006: The Politics and Policy of Energy System Transformation – Explaining the German Diffusion of Renewable Energy Technology. In: *Energy Policy* 34/3 (2006), S. 256–276

Lawhon, M.; Murphy, J.T., 2012: Socio-technical Regimes and Sustainability Transitions: Insights from Political Ecology. In: *Progress in Human Geography* 36/3 (2012), S. 354–378

Markard, J.; Raven, R.; Truffer, B., 2012: Sustainability Transitions: An Emerging Field of Research and its Prospects. In: *Research Policy* 41/6 (2012), S. 968–979

Markard, J.; Truffer, B., 2008: Technological Innovation Systems and the Multi-level Perspective: Towards an Integrated Framework. In: *Research Policy* 37/4 (2008), S. 596–615

Metcalf, S., 1995: The Economic Foundation of Technology Policy. Equilibrium and Evolutionary Perspec-

tives. In: Stoneman, P. (Hg.): *Handbook of the Economics of Innovation and Technology*. Oxford, UK

Nelson, R.R.; Winter, S.G., 1982: *An Evolutionary Theory of Economic Change*. Cambridge, MA

Rosenberg, N., 1994: *Exploring the Black Box. Technology, Economics and History*. Cambridge, UK

Sachs, W., 1984: *Die Liebe zum Automobil. Ein Rückblick auf die Geschichte unserer Wünsche*. Reinbek

Schot, J., 1992: Constructive Technology Assessment and Technology Dynamics: The Case of Clean Technologies. In: *Science, Technology & Human Values* 17 (1992), S. 36–56

Shove, E.; Walker, G., 2007: CAUTION! Transitions Ahead: Politics, Practice, and Sustainable Transition Management. In: *Environment and Planning A* 39 (2007), S. 471–476

Smith, A.; Voß, J.P.; Grin, J., 2010: Innovation Studies and Sustainability Transitions: The Allure of the Multi-level Perspective and its Challenges. In: *Research Policy* 39/4 (2010), S. 435–448

Truffer, B., 2008: Society, Technology, and Region: Contributions from the Social Study of Technology to Economic Geography. In: *Environment and Planning A* 40/4 (2008), S. 966–985

Truffer, B., 2012: The Need for a Global Perspective on Sustainability Transitions. In: *Environmental Development* 3 (2012), S. 182–183

Truffer, B.; Coenen, L., 2012: Environmental Innovation and Sustainability Transitions in Regional Studies. In: *Regional Studies* 46/2 (2012), S. 1–22

Truffer, B.; Markard, J.; Binz, C. et al., 2012: Energy Innovation Systems – Structure of an Emerging Scholarly Field and its Future Research Directions. Strategic Research Alliance for Energy Innovation Systems and their Dynamics. Denmark in global competition. Lyngby, DK

van den Bergh, J.; Truffer, B.; Kallis, G., 2011: Environmental Innovation and Societal Transitions: Introduction and Overview. In: *Environmental Innovation and Societal Transitions* 1/1 (2011), S. 1–23

Kontakt

Prof. Dr. Bernhard Truffer
Eawag, Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology
ESS – Environmental Social Sciences Department
Überlandstraße 133, 8600 Dübendorf, Schweiz
Tel.: +41 587 655670
E-Mail: Bernhard.truffer@eawag.ch

