

Nachhaltigkeit und Schlüsseltechnologien

## Ein ambivalentes Verhältnis

**Neue Technologien sind ein entscheidender Faktor bei der Erreichung um Nachhaltigkeitszielen. Ob Technologien in dieser Hinsicht auch dienlich sind, lässt sich allerdings ex-ante, etwa bei der Bewertung zukünftiger Schlüsseltechnologien, nur in Form von Potentialen bestimmen. Ob die Potentiale bei Entwicklung der Technologie dann auch zum tragen kommen, hängt mehr von der sozialen und politischen Gestaltung denn von der Technologie selbst ab.**

**T**echnikentwicklung und -einsatz prägen Gegenwart und Zukunft. Natürliche Umwelt und Gesellschaft werden durch Technik verändert. Unabhängig davon, was im Detail unter Nachhaltigkeit verstanden wird, gilt, dass Technik maßgeblich mit über die Nachhaltigkeit der menschlichen Zivilisation entscheidet. Diese enge Verbindung von Nachhaltigkeit und Technik wird weiter zunehmen. Angesichts der global noch über Jahrzehnte weiter ansteigenden Bevölkerungszahl und der berechtigten Bedürfnisse nach einem nachholenden Wirtschaftswachstum in den Entwicklungs- und Schwellenländern ist nicht zu erkennen, wie Schritte in Richtung auf eine nachhaltige Entwicklung ohne mehr und „nachhaltigere“ Technik erfolgen könnten. Technischer Fortschritt und nachhaltige Entwicklung – die in einigen Kreisen lange Zeit als unvereinbar galten – müssen zusammengebracht werden.

### ► Ambivalenz von Technik und Nachhaltigkeit

Dies stellt jedoch eine ganz erhebliche Herausforderung dar. Denn das Verhältnis von Technik und Nachhaltigkeit ist ambivalent. Technik kann sich für oder gegen die Idee einer nachhaltigen Entwicklung auswirken (1). Zukünftige Generationen werden etwa die Möglichkeit globaler Kommunikation erben, aber auch leer geräumte Rohstofflager und deponierte Abfälle vorfinden. In dieser Situation stellt sich die Frage nach einer Technikentwicklung – insbesondere von Schlüsseltechnologien – unter Nachhaltigkeitsaspekten.

Der Begriff der Schlüsseltechnologien ist nicht scharf definiert. Zumeist werden damit technische Entwicklungspfade bezeichnet, die „Schlüsselcharakter“ für eine Vielzahl von An-

wendungen in Technikfeldern oder Produktbereichen haben. In der Innovationstheorie sind sie am ehesten der Kategorie der *generic technologies* zuzuordnen, in denen es um die Transformation oder Neuerschließung ganzer Technikfelder geht (2). Zu ihren Charakteristika zählt beispielsweise, dass sie nicht auf spezifische Anwendungsfelder beschränkt sind, unübersehbare indirekte qualitative Folgen für die Gesellschaft haben oder einen hohen Grad an Irreversibilität besitzen, sind sie erst einmal etabliert.

Historische Beispiele sind der Buchdruck, die Dampfmaschine, die Techniken elektrischer Energieerzeugung und -verbreitung, sowie Transistor und Mikrochip. Ein anderes Beispiel stellen neue Materialien dar. So ist der Siegeszug der Kunststoffe ein Beispiel für die gewaltige Eindringtiefe in wohl alle gesellschaftlichen Bereiche (3).

Die Beispiele machen die Nachhaltigkeitsrelevanz von Schlüsseltechnologien deutlich. Ganz erhebliche Einflüsse auf die natürliche Umwelt über Material- und Energiebedarf sowie Emissionen, aber genauso auf gesellschaftliche Bereiche wie die Arbeitswelt, die Wirtschaft und die Kultur bis hin zu Wertfragen prägen wesentlich die Nachhaltigkeitsbilanz der gesellschaftlichen Nutzung von Schlüsseltechnologien (4). Heutige Entscheidungen über die Förderung oder die Entwicklung von Schlüsseltechnologien werden herausragenden Einfluss auf viele nachhaltigkeitsrelevante Entwicklungen in den nächsten Jahrzehnten haben. Umso dringlicher stellt sich die Frage, ob sie gezielt in Richtung Nachhaltigkeit beeinflusst und wie nachhaltigkeitswirksame Effekte von Schlüsseltechnologien bewertet werden können.

Entscheidend für eine Bewertung von Technik unter Nachhaltigkeitsaspekten ist, dass Technik als Ensemble von Produkten und Verfahren immer nur im Zusammenhang mit ihrer Entwick-

lung, ihrer gesellschaftlichen Nutzung und ihrer Entsorgung zur nachhaltigen Entwicklung beiträgt oder ihr zuwider läuft. Technische Produkte und Systeme sind von sich aus weder nachhaltig noch nicht nachhaltig. Sie akkumulieren vielmehr positive und negative Nachhaltigkeitsbeiträge auf ihrem gesamten Lebensweg, der von den primären Rohstofflagerstätten über Transporte und Verarbeitungsprozesse bis zu ihrer Nutzung reicht und schließlich mit der Entsorgung endet. Für eine Nachhaltigkeitsbewertung von Technik ist daher der gesamte Lebenszyklus entscheidend. Klassische Lebenszyklusanalysen sind um eine Betrachtung der weiteren nachhaltigkeitsrelevanten Aspekte auf dem Lebensweg wie zum Beispiel ökonomische, soziale oder politisch-institutionelle Aspekte zu ergänzen.

### ► Gesellschaftliche Einbettung zentral

Nachhaltigkeit ist damit kein technisches Leistungsmerkmal, das gleichsam ontologisch an technischen Produkten oder Systemen wie ein Etikett zu befestigen wäre, sondern die Nachhaltigkeitswirkung von Technik wird erst im Gesamtzusammenhang von Herstellung, Nutzung und Entsorgung bestimmt. Insbesondere ist sie nicht zu erfassen und zu bewerten ohne Berücksichtigung der gesellschaftlichen Akzeptanz und Nutzung der Technik sowie entsprechender Konsum- und Verhaltensmuster – allgemein gesagt, ohne Berücksichtigung ihrer gesellschaftlichen Einbettung (5). Besonders deutlich wird dies angesichts der so genannten Bumerang-Effekte. Sie drücken den Sachverhalt aus, dass technische Nachhaltigkeitspotentiale nicht automatisch zu realen Nachhaltigkeitsgewinnen führen müssen, sondern dass Veränderungen der Konsumgewohnheiten und der Kundenansprüche die technischen Potentiale kompensieren oder sogar überkompensieren können.

Dies hat erhebliche Folgen für eine Nachhaltigkeitsbewertung von Schlüsseltechnologien. Da Schlüsseltechnologien mit dadurch definiert sind, dass mit zwar breiter Anwendung gerechnet wird, diese aber in der konkreten Ausprägung noch kaum absehbar ist, ist eine Nachhaltigkeitsbewertung *auf der Ebene der Schlüsseltechnologien* überhaupt nicht möglich. Ein Beispiel dafür ist die Nanotechnologie (6). Eine Nachhaltigkeitsbewertung bedürfte

der Kenntnis der Anwendungskontexte, und die ist per definitionem im Entwicklungsstadium nicht gegeben.

Der in der Regel gewählte Ausweg besteht darin, von *Nachhaltigkeitspotentialen* der Schlüsseltechnologien zu sprechen, über deren *Realisierung* in konkreten Innovationsprozessen entschieden wird. Der Grundgedanke dabei ist, gezielt bestimmte technische Leistungsmerkmale wie Emissionsverhalten oder Ressourcenproduktivität in den Blick zu nehmen. Unter bestimmten *ceteris paribus*-Annahmen können dann komparative Nachhaltigkeitsbewertungen angeschlossen werden. Ein technisches Verfahren, das energieeffizienter arbeitet als funktional vergleichbare, ist immer in dieser Hinsicht ‚nachhaltiger‘ – *ceteris paribus* bei Annahmen über die Konstanz von Konsummustern und Wertschöpfungsketten. Aussagen über Nachhaltigkeitspotentiale arbeiten mit *ceteris paribus*-Annahmen, in denen das Nichtwissen über die zukünftigen Anwendungskontexte, welche für Nachhaltigkeitsbewertungen von Schlüsseltechnologien entscheidend sind, durch Konstanzannahmen ersetzt wird.

### ► Nachhaltigkeitspotentiale sind hypothetisch

Über das Eintreffen dieser Annahmen besteht selbstverständlich mehr oder weniger hohe Unsicherheit. Es gibt daher keine Automatismen, dass aus technischen Nachhaltigkeits*potentialen* auch reale Beiträge zu einer nachhaltigen Entwicklung werden. Nachhaltigkeitspotentiale sind daher grundsätzlich hypothetisch. Sie zu realisieren, ist keine technische, sondern vielmehr eine soziale, politische und ökonomische sowie allgemeingesellschaftliche Angelegenheit von erheblicher Komplexität. Da bei Entscheidungen zum Beispiel über die politische Förderung von Schlüsseltechnologien aus Nachhaltigkeitsgründen aber zwangsläufig Einschätzungen dieser hypothetischen Potentiale handlungsleitend sind, ist Vorsicht in zweierlei Hinsicht angebracht:

(a) aus Potentialen muss nicht Realität werden – Nachhaltigkeitspotentiale von Schlüsseltechnologien sind und bleiben *Potentiale*. In den Entscheidungs- und Gestaltungsprozessen ist diese Unsicherheit zu berücksichtigen, genauso wie die Frage, *unter welchen Umständen* sie Realität werden können.

(b) neben den häufig genannten positiven *Nachhaltigkeitspotentialen* von

Schlüsseltechnologien mag es auch negative, sogenannte Nachhaltigkeitsrisiken, geben. Auch sie sind hypothetisch, was aber einer frühzeitigen Beschäftigung mit ihnen, etwa im Sinne eines *early warning* der Technikfolgenabschätzung, nicht entgegenstehen sollte, um sie zu mildern oder zu verhindern.

Die Ambivalenz im Verhältnis von Technik und Nachhaltigkeit gilt daher auch für die Nachhaltigkeitspotentiale von Zukunftstechnologien. Zutreffend, wenn auch etwas arg prinzipiell, formuliert Groys: „man weiß hinsichtlich einer technischen Innovation nie, ob sie die existierende Gesellschaft stabilisiert oder zugrunde richtet“ (7).

### ► Nachhaltige Technologien gibt es nicht

Die obigen Überlegungen zu Nachhaltigkeitspotentialen geben Hinweise darauf, wie Schlüsseltechnologien im Sinne der nachhaltigen Entwicklung gestaltet werden können. Es ist jedenfalls nicht möglich, das Zielkriterium Nachhaltigkeit in das Lastenheft für die Technikentwicklung wie ein anderes technisches oder ökonomisches Leistungsmerkmal aufzunehmen. Nachhaltige Schlüsseltechnologien gibt es nicht, genauso wie technische Produkte oder Systeme nicht entweder nachhaltig oder nicht nachhaltig sind. Ein gangbarer Weg besteht aber darin, die Rede über Nachhaltigkeitspotentiale konstruktiv zu nutzen. Eine Gestaltung von Schlüsseltechnologien unter Nachhaltigkeitsaspekten würde danach folgende Schritte umfassen:

- Analyse der positiven und negativen Nachhaltigkeitspotentiale von Schlüsseltechnologien bereits in möglichst frühen Entwicklungsstadien,
  - Untersuchung des Grades und der Ausprägung ihrer Hypothesizität,
  - Analysen der Faktoren, von denen abhängt, ob die positiven Nachhaltigkeitspotentiale realisiert oder die Nachhaltigkeitsrisiken frühzeitig bewältigt werden können,
  - Fortführung und Konkretisierung dieses mehrstufigen Prozesses im Verlaufe der weiteren Entwicklung der Schlüsseltechnologien.
- Nachhaltigkeitsbewertungen von Schlüsseltechnologien sind also nur als begleitender Prozess zu realisieren. Ihre Gestaltung unter Nachhaltigkeitsaspekten bildet einen ständigen Lernprozess, orientiert durch das normative Leitbild der Nachhaltigkeit, in dem über Gestaltungsziele, Realisierungsoptionen und die zukünftige Einbettung der Schlüsseltechnologien in die Gesellschaft disku-

tiert wird. Es kommt darauf an, im Rahmen einer reflexiven Technikentwicklung die eigentliche Entwicklung von Technik mit der Reflexion ihrer hypothetischen Folgen – insbesondere der Nachhaltigkeitspotentiale – zu verbinden. In diese Lernprozesse, die konkret an den verschiedenen Schnittstellen zwischen Politik, Öffentlichkeit, Wissenschaft, Wirtschaft und Technik verlaufen, gehen wissenschaftliches Wissen und ethische Orientierungen ein, bereitgestellt zum Beispiel durch Technikfolgenabschätzung. Das Bild einer nachhaltigeren Technik auf der Basis von Schlüsseltechnologien bildet sich dabei allmählich heraus.

### Anmerkungen

- (1) Fleischer, T./ Grunwald, A.: Technikgestaltung für mehr Nachhaltigkeit – Anforderungen an die Technikfolgenabschätzung. In: A. Grunwald (Hrsg.): Technikgestaltung für eine nachhaltige Entwicklung. Berlin 2002, S. 99-148.
- (2) Dosi, G./ Freeman, C./ Nelson, R./ Silverberg, G./ Soete, L. (Hrsg.): Technical change and economic theory. London 1988.
- (3) Harig, H./ Langenbach, Ch. (Hrsg.): Neue Materialien für innovative Produkte. Heidelberg 1999.
- (4) Coenen, R./ Grunwald, A. (Hrsg.): Nachhaltigkeitsprobleme in Deutschland. Analyse und Wege zu ihrer Bewältigung. Berlin 2003, insbesondere Kapitel 7.
- (5) Majer, H.: Eingebettete Technik – die Perspektive der ökologischen Ökonomik. In: A. Grunwald (Hrsg.): Technikgestaltung für eine nachhaltige Entwicklung. Berlin 2002, S. 41-68.
- (6) Fleischer, T.: Technikgestaltung für mehr Nachhaltigkeit: Nanotechnologie. In: Coenen, R./ Grunwald, A. (Hrsg.): Nachhaltigkeitsprobleme in Deutschland. Analyse und Wege zu ihrer Bewältigung. Berlin 2003.
- (7) Groys, B.: Technik im Archiv. Die dämonische Logik technischer Innovation. Jahrbuch Technik und Gesellschaft.

### Der Autor

Prof. Dr. Armin Grunwald ist Leiter des Instituts für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse des Forschungszentrums Karlsruhe (ITAS), Leiter des Büros für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB) sowie Professor an der Universität Freiburg.

**Kontakt:** ITAS, Postfach 36 40, 76021 Karlsruhe.  
Tel. 07247-822500, Fax -4806,  
E-Mail: grunwald@itas.fzk.de

(c) 2010 Authors; licensee IÖW and oekom verlag. This is an article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial No Derivates License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.