

### Ist das Technik oder kann das weg? Zur Reversibilität von Technologien

Kornwachs, Klaus

Veröffentlichungsversion / Published Version

Zeitschriftenartikel / journal article

#### Empfohlene Zitierung / Suggested Citation:

Kornwachs, K. (2021). Ist das Technik oder kann das weg? Zur Reversibilität von Technologien. *TATuP - Zeitschrift für Technikfolgenabschätzung in Theorie und Praxis / Journal for Technology Assessment in Theory and Practice*, 30(1), 63-68. <https://doi.org/10.14512/tatup.30.1.63>

#### Nutzungsbedingungen:

Dieser Text wird unter einer CC BY Lizenz (Namensnennung) zur Verfügung gestellt. Nähere Auskünfte zu den CC-Lizenzen finden Sie hier:

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>

#### Terms of use:

This document is made available under a CC BY Licence (Attribution). For more information see:

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0>

# Ist das Technik oder kann das weg?

## Zur Reversibilität von Technologien

Klaus Kornwachs, Büro für Kultur und Technik, Strickers Höhe 22, 88260 Argenbühl (klaus@kornwachs.de)

Reversible Technologien sind solche, die man zurücknehmen kann, d. h. sie können abgeschaltet, abgebaut und ggf. durch bestehende neue Technologien ersetzt werden. Irreversible Technologien stellen eine Belastung dar. Es wird eine Typologie der Rücknehmbarkeit resp. Reversibilität entwickelt und anhand von irreversiblen Technologien diskutiert. Es wird vorgeschlagen, Reversibilität als ein Wertekriterium der Technikbewertung aufzunehmen und es werden einige Überlegungen zur Gestaltung von reversiblen Technologien vorgestellt.

### *Is this technology or can it be thrown away?*

*About the reversibility of technologies*

*Reversible technologies are those that can be taken back, i. e., they can be switched off, dismantled, and, if necessary, replaced by existing new technologies. Irreversible technologies are a burden. A typology of take back or reversibility is developed and discussed on the basis of irreversible technologies. It is proposed to include reversibility as a value criterion for technology assessment. Some considerations on the design of reversible technologies are presented.*

**Keywords:** *philosophy of technology, system theory, reversible technology, error friendliness*

## Einleitung

Überlegungen über Reversibilität von Technologien tauchten auf, als die Entsorgungsprobleme infolge der Nutzung der Kernenergie breiter bewusst und diskutiert wurden (Bergen 2016 a, 2016 b). In diesem Zusammenhang wurde auch die (Ir-)Reversibilität von Entscheidungen zur Übernahme bestimmter Technologien thematisiert – sowohl technologiepolitisch (Chulkov 2018), als auch ökonomisch (Pols und Romijn 2017). Hier standen vor allem die Kosten im Vordergrund. Der hier vorgestellte Absatz untersucht hingegen systemtheoretisch nach dem Ansatz

von Ropohl (2009) Technologien auf ihre genuine Eigenschaft hin, irreversibel oder reversibel zu sein.

Dabei wird von der Hypothese ausgegangen, dass reversible, also rücknehmbare, Technologien, die prinzipiell und ohne großen Schaden, d. h. ohne funktionelle Störung der verbleibenden Technologien und bestehenden ökonomischen gesellschaftlichen Verhältnisse auch vor Ablauf ihrer „normalen“ Lebensdauer wieder „abgebaut“ und gegebenenfalls durch andere, möglicherweise bessere, ersetzt werden können, zu einer Verringerung der technologischen und gesellschaftlichen Komplexität sowie zu einer nachhaltigeren Zivilisation beitragen können. Reversibilität von Technologien kann sowohl als förderliche Voraussetzung wie auch als Bestandteil einer *Circular Economy*, z. B. für Batterien (EIB 2020; CEID und acatech 2020) verstanden werden.

Denn irreversible Technologien stellen schon heute ein großes Belastungspotential für Gesellschaften, Ökonomie und Ökologie dar. *Pars pro toto* seien Kosten und Probleme des Rückbaus der Nutzung der Kernenergie, der Entsorgung von chemisch toxischen Mülldeponien, der Entfernung von Weltraumschrott genannt. In all diesen Fällen ist nicht nur das Entsorgungsproblem offensichtlich, sondern auch der Umstand, dass die Kosten für die gesamte Exnovation immens sind. Dieser Begriff Exnovation bezeichnet nach Kimberly (1981, S. 91 f.) den Prozess, bereits eingerichtete Technologien und Organisationsstrukturen, aber auch gewohnte Muster von gesellschaftlichen Prozessen und Governance zurückzunehmen, wenn sie sich nicht mehr als dienlich erweisen. Die Reversibilität von künftigen Technologie wäre deshalb eine Voraussetzung für die leichtere Machbarkeit ihrer gegebenenfalls notwendigen Exnovation.

## Kann man technologisch den Spieß herumdrehen?

### Reversible Prozesse

Eine Bedeutung des Begriffs Reversibilität besagt, dass Prozesse, die die Funktionalität eines Geräts bestimmen, zu einem bestimmten Grad umgekehrt werden können. So kann eine reversible Brennstoffzelle ihren energieliefernden Arbeitsprozess umkehren. Die Umkehrung besteht dann in der Umwandlung

von elektrischer Energie in wieder speicherbare chemische Energie. Ein ähnliches Muster zeigen Pumpspeicherkraftwerke, indem sie in der einen Richtung des Prozesses elektrische Energie aus der potenziellen Energie von höherliegenden Wasservorräten durch den Fall in kinetische Energie und durch den Dynamo in elektrische Energie umwandeln. Ist genügend elektrische Energie im Netz vorhanden, so benutzt man den Generator als Pumpe, um das Wasser wieder in den höher gelegenen Stausee zu befördern.

Bei beiden Beispielen kann man von einer Technologie sprechen, die reversible Prozesse nutzt. Ganz reversibel im obigen Sinne einer vollständigen Prozessumkehr sind diese beiden Prozesse der Energietransformation jedoch nicht, weil in beiden Richtungen ein Wirkungsgrad von weniger als 100% vorliegt. Es geht also immer nutzbare Energie „verloren“. Dies gilt auch für das *reversible computing*, das jedoch den Energieverbrauch der Rechner erheblich senken könnte (Frank 2017).

### Rücknehmbarkeit

Eine andere Bedeutung des Begriffs von Reversibilität besteht in der Rücknehmbarkeit von Technik selbst, die man wie folgt definieren könnte: Eine Technik sei schwach rücknehmbar, wenn sie oder Teilkomponenten durch eine andere Technik unter Beibehaltung oder Verbesserung der Funktionalität ersetzt werden können. Dabei soll gelten, dass diese Technik oder deren Teilkomponenten mit tolerablen Aufwänden entsorgt werden können. Eine Technik sei stark rücknehmbar, wenn sie oder Teile davon abgeschaltet, abgebaut und entsorgt werden können, ohne dass die Gesamtfunktionalität des Systems, indem diese Technik eingebettet war, dadurch wesentlich beeinträchtigt wird. Synonym kann man dann von schwacher resp. starker Reversibilität sprechen.

Das Abschalten eines Autopilotsystems zu jeder vom Piloten gewünschten Zeit wäre ein Beispiel für ein stark rücknehmbare Technik, da die Funktion vom Piloten übernommen werden kann (Schlönhard 2008). Servolenksysteme, wie sie in Kampfflugzeugen eingebaut sind und den Piloten unterstützen, können hin-

Straßen, Proliferation von Kraftstoff und Ersatzteilen, Verkehrsregeln und Gesetzgebung, Schulung und vieles andere mehr. Auf der Ebene des technischen Systems und dessen Funktionalität muss man sowohl das Gerät als Technik in einem engeren Sinne wie auch dessen organisatorische Hülle betrachten.

Zum Funktionieren einer Technik gehört Organisation notwendigerweise dazu. Nun ist der Begriff der Organisation mehrdeutig. Zum einen verstehen wir darunter einen Prozess, der Teilprozesse wie menschliche Tätigkeiten und maschinelles Funktionieren in eine gewünschte zeitliche wie räumliche Anordnung bringt. Zum anderen bezeichnen wir damit auch das Ergebnis dieses Prozesses, z. B. eine Aufbau- und Ablauforganisation. Weiter versteht man unter Organisation eine Institution im materialen Sinne (also mit Adresse und Ansprechpartner wie Vereine, NGOs, Firmen, Behörden etc.). Institutionen im formalen Sinn repräsentieren vergegenständlichte menschliche Tätigkeiten (Habitualisierung) wie Ehe, Gerichtswesen, Parlamente etc. (Berger und Luckmann 2003). Der Begriff der organisatorischen Hülle bezieht sich sowohl auf den Prozess der Organisation und dessen Ergebnis als auch auf materiale wie formale Institutionen (Ropohl 2009).

### Eine Typologie der Rücknehmbarkeit bzw. der Reversibilität

Wenn wir also von Technik sprechen, müssen wir unterscheiden zwischen Komponenten (von Bauteilen, z. B. der Rechner beim Autopiloten), Teilsystemen (z. B. ein Autopilot im Flugzeug), der oben diskutierten organisatorischen Hülle (z. B. Daten, Anbindung an Satellitennavigation) und der Gesamttechnik (Flugzeug + Besatzung + Flugplan + ...). Dabei kann auch die angesprochene Gesamttechnik wiederum ein Teilsystem eines übergeordneten Systems sein, z. B. das Flugzeug als Teilsystem des Flugverkehrs. Was als Gesamttechnik herausgegriffen wird, ist demnach immer nur perspektivisch aus der Sicht der Problembeschreibung zu verstehen.

## *Das Abschalten eines Autopilotsystems zu jeder vom Piloten gewünschten Zeit wäre ein Beispiel für eine stark rücknehmbare Technik.*

gegen nicht abgeschaltet werden, da dies sonst zum Verlust der Steuerungsfähigkeit der Maschinen führen würde. Die obige Definition ist jedoch allgemeiner gemeint.

Ein Gerät kann seine technische Funktion nur entfalten, wenn die Gesamtheit der Ko-Systeme, also alle damit verbundenen technischen und organisatorischen Systeme, ebenfalls funktioniert. Diese Ko-Systeme bilden in ihrem Zusammenspiel die organisatorische Hülle einer Technologie. Beim Kühlschrank ist dies der banale Umstand, dass man seine Stromrechnung bezahlen muss. Beim Auto sind die Ko-Systeme schon vielfältiger:

Es wird, wie in Tabelle 1, eine Typologie der Reversibilität von Technologie vorgeschlagen. Die Rücknahme einer alten Technik  $T_{alt}$  differenziert sich von links nach rechts entweder durch Ersetzung durch eine neue Technik  $T_{neu}$ , wobei abgeschaltet, oder auch abgebaut oder auch zusätzlich entsorgt wird, oder durch Nichtersetzung und Beibehaltung einer anderweitigen Technologie  $T_{ex}$ , wobei wieder abgeschaltet oder auch abgebaut oder auch zusätzlich entsorgt wird. Dabei wird unterschieden, ob nur Komponenten, Teilsysteme, die organisatorische Hülle oder das Gesamtsystem zurückgenommen werden.

T <sub>alt</sub>	Rücknahme durch			Nicht ersetzen, Übernahme durch T <sub>ex</sub>		
	abschalten	abbauen	entsorgen	abschalten	abbauen	entsorgen
Komponenten	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]
Teilsysteme	[7]	[8]	[9]	[10]	[11]	[12]
Organisatorische Hülle	[13]	[14]	[15]	[16]	[17]	[18]
Gesamte Technologie	[19]	[20]	[21]	[22]	[23]	[24]

**Tab. 1:** Typologie der Reversibilität von Technologien. T<sub>alt</sub>= bestehende, alte Technologie, T<sub>neu</sub>= ersetzende Technologie, T<sub>ex</sub>= anderweitige, schon bestehende Technologie, die die Funktionalität der alten Technologie T<sub>alt</sub> übernehmen kann. Weitere Erläuterungen siehe Text. *Quelle: eigene Darstellung*

Der Grad der Reversibilität nimmt von links nach rechts und von oben nach unten zu. Die Ziffern in den Feldern referieren zu den weiter unten diskutierten Beispielen von Technologien.

Wir definieren mit Hilfe von Tabelle 1 reversible Technologien zu einem schwachen Grad an Reversibilität als solche, deren Hardwarekomponenten abschaltbar [1] oder auch rückbaubar/abbaubar [2] oder auch entsorgbar [3] sind, wenn möglich zu ökonomisch und sozial akzeptablen Bedingungen [4,5,6]. Entsprechendes gilt für einen mittleren Grad an Reversibilität für Teilsysteme [7,8,9]. Starke Reversibilität liegt dann vor, wenn auch die organisatorische Hülle [13,14,15] bzw. das Gesamtsystem ersetzbar ist [14–21]. Technologien, die durch nachfolgende Technologien schrittweise und kompatibel ersetzt werden können, können auch als reversibel aufgefasst werden, wobei die Beziehungen zwischen alter und neuer Technologie für die Substitution der einen durch die andere durch Kohärenz, Koexistenz und Konvergenz charakterisiert werden können (Kornwachs 2012, Kap. C).

Unter Kohärenz versteht man die Möglichkeit des Zusammenwirkens von Technologielinien. Sinnfälliges Beispiel ist das Zusammenspiel von Mechanik und Elektrotechnik bei Turbinen, Elektro-Wecker oder bei in der Kfz-Elektrik. Unter Koexistenz versteht man das Funktionieren getrennt betriebener Technologielinien zur gleichen Zeit, die nicht miteinander wechselwirken (keine Kopplung), aber vergleichbare Funktionalität aufweisen.

Unter Konvergenz ist das Verschmelzen von zwei oder mehreren Technologielinien zu verstehen, wobei Kerne der einen Technologien durch die Kerne der anderen Technologien funktionsgleich oder funktionsverbessernd substituiert werden (Roco et al. 2013). Man sieht, dass Konvergenz vorherige Koexistenz und nachfolgend Kohärenz voraussetzt.

Unter strukturfleiblen Technologien wollen wir solche verstehen, bei denen die Vernetzung zwischen den Komponenten oder Teilsystemen untereinander verändert oder getrennt werden kann, ohne dass die Hauptfunktion des Gesamtsystems beeinträchtigt wird. Beispiele für solche Systeme sind im Großen das Internet und auf der unteren Ebene Neuronale Netze.

Irreversible Technologien sind dann solche, deren Hardwarekomponenten oder Teilsysteme technisch nicht oder nicht mehr zu ökonomisch akzeptablen Bedingungen abschaltbar oder auch rückbaubar oder auch entsorgbar sind. Irreversible Technolo-

gien sind auch solche, die mit nachfolgenden Technologien nicht kompatibel sind, also entweder keine Kohärenz, keine Koexistenz oder keine Konvergenz aufweisen. Dazu kommen strukturstarrte Technologien, deren interne Vernetzung nicht verändert oder getrennt werden kann, ohne deren Hauptfunktion zu beeinträchtigen.

Als Forschungsfrage wäre zu vermuten, dass Technologien, die zu einem hohen Grad eine bestehende Technologie schon durchdrungen haben (z. B. die Informatisierung der Produktionstechnik), eher zur Irreversibilität neigen und sich einer Exnovation widersetzen als solche, die sich am Beginn der Diffusionskurve befinden.

## Einige Beispiele irreversibler Technik

### Technik, die man nicht abbauen kann

Am auffälligsten wird das Problem der Irreversibilität von Technologien bei den sattsam bekannten Entsorgungsproblemen. Giftmülldeponien können ca. 1000 Jahre nach ihrer Anlage noch Wirkung entfalten, wenn man sie nicht „behandelt“ [11,12] (Alldag 2020). Landminen wären vollständig in ca. 500 Jahre geräumt, wenn man mit der heutigen Räumungsgeschwindigkeit fortfahren würde [11,12] (Trevelyan 1998). Beim radioaktiven Müll mit Halbwertszeiten bis zu 20.000 Jahre ist das Problem hinlänglich diskutiert, aber längst nicht gelöst [22,23,24].

Freigesetzte gentechnisch veränderte Organismen lassen sich in der Regel nicht wieder einfangen [10,11,12] (Behringer 2002). Das gefährdende Potential von Weltraumschrott [6] (Stokes et al. 2017), die Dispersion von Plastik auf unserem Planeten [12] (Ritchie und Roser 2018) bis hin zum Computerschrott [5,6] (Hwang 2002) zeigen uns die schwer beherrschbaren Folgen von Technologien. In all diesen Fällen wird das Problem der Folgen nicht dadurch gelöst, dass man die jeweils erzeugende Technologie mit oder ohne Ersatz aus dem Verkehr zieht. Man erreicht nur, dass keine weiteren Folgen mehr entstehen, wird aber mit den schon vorliegenden kaum oder gar nicht fertig.

Die zivile Variante des ARPANETS, die von Physikern bei CERN auf den Weg gebracht wurde, hat zu einem weltumspannenden Netz, dem Internet geführt, das viele Ausfälle verkraften kann, aber auf dem sich nun ein großer Teil der gesamten welt-

weiten wie lokalen Kommunikation abspielt. Die Folgen einer „Rücknahme“ der Hardwaretechnologie des Netzes (Leitungen, Funkstrecken, Glasfaser etc.) wären ebenso wenig denkbar wie die Folgen des Zusammenbruchs der Übertragungsprotokolle durch einen Computer- oder Netzvirus oder Sabotage [19,22] (Borland 2008). Das Internet erweist sich damit als eine stark irreversible Technologie.

Trivialerweise kann man sich vorstellen, dass das heutige Niveau der Energieversorgung ohne wirtschaftliche Schäden kaum heruntergefahren werden kann, die anvisierten Klimaziele aber eine Rücknahme der fossilen Energieträger und der Substitution durch erneuerbare Energien erfordern. Hier wäre eine Reversibilität unter Substitution gefordert, wobei die ursprünglichen Energietechnologien alles andere als rückbaufreundlich konzipiert wurde. Man sieht das auch drastisch an den Problemen, die der Rückbau von Kernkraftwerken mit sich bringt [19–21], wie die Tabelle der abgebauten Kraftwerke (Wikipedia 2020) zeigt.

## Technik, die man abbauen kann

Mit viel Aufwand restaurierte und erhaltene Burgruinen erscheinen uns heute romantisch. Doch sie lieferten noch im 18. Jahrhundert Steine als Baumaterial für die umliegenden Dörfer. Vielfach wurden in Europa auch Flächenversiegelungen wieder beseitigt und einstmals angelegte Straßen und Bahntrassen dem Erdboden übergeben [9,12]. Bestimmten Formen der Energietechnik wie Stauseen und Speicherkraftwerke glaubte man abbauen zu müssen, bis die Energiewende ihnen wieder einen ökologischen und ökonomischen Sinn gab. Eine durch einen Staudamm unter Wasser gesetzte Tallandschaft wieder zu renaturieren, dürfte schwieriger sein, als Windräder, Photovoltaik oder Fossilkraftwerke dem Erdboden gleichzumachen [20,21]. Überlandstromleitungen können leicht aufgebaut und abgebaut werden, schwieriger wird es wiederum, wenn man die Trassen unterirdisch verlegt.

Der langfristige Rückgang der Kohle als Energieträger zeigt Wirkung: Vom Tagebau der Braunkohle verwüstete Landschaften werden renaturiert und in Seen und Erholungslandschaften verwandelt. Die Schürfmäschinen können verschrottet werden, die aufgerissenen Bohrlöcher geflutet und die umgebende Landschaft wieder aufgeforstet werden. Allerdings sind dies Maßnahmen, die zum Teil mehrere Jahrzehnte in Anspruch nehmen werden [23,24] (Hüttl et al. 1999).

## Reversibilität als Kriterium der Technikbewertung

### Zum Werteoktagon der Technikbewertung

Die vom Verein Deutscher Ingenieure (VDI) veröffentlichte Richtlinie zur Technikbewertung (VDI 1991) enthielt das sog. Werteoktagon, also acht voneinander unabhängige Werte, aus

denen sich in gewisser Weise Kriterien der Bewertung einer vorliegenden oder prospektiven Technologie entwickeln lassen, die dann operational umgesetzt werden können (Kornwachs und Niemeyer 1991). Diese Werte (in alphabetischer Reihenfolge: Funktionsfähigkeit, Gesellschaftsqualität, Gesundheit, Persönlichkeitsentwicklung, Sicherheit, Umweltqualität, Wirtschaftlichkeit, Wohlstand) sind vielfach diskutiert worden. Sie stehen untereinander in Konfliktbeziehung, was in den meisten Entscheidungsfällen zu einer Priorisierung von Werten zwingt. Die wenigen Versuche, die Anzahl zu reduzieren, waren kaum erfolgreich, was ihre Unabhängigkeit voneinander unterstreicht.

Ein Erweiterungsversuch schlug vor, die sogenannte Fehlerfreundlichkeit als Bewertungskriterium zusätzlich einzuführen (Kornwachs 2000). Nur auf den ersten Blick erscheint dieser erweiterte Wert jenem der Sicherheit ähnlich. Fehlerfreundlichkeit rekurriert auf die persönliche Unversehrtheit der mit dieser Technik handelnden Menschen, auf die Minimierung des Risikos von Betrieb, Versagen oder Missbrauch einer Technik für die Beteiligten wie für die involvierten institutionellen und sozialen Strukturen. Fehlerfreundlichkeit und Sicherheit sind jedoch nicht gleichzusetzen, wenngleich Fehlerfreundlichkeit zu einer höheren Sicherheit führen kann.

### Fehlerfreundliche Technik

Der Begriff der Fehlerfreundlichkeit stammt ursprünglich aus der biologischen Systemtheorie (Weizsäcker und Weizsäcker 1984) und bedeutet, dass eine Veränderung der Umwelt weder die Überlebensfähigkeit eines Organismus (phänotypischen), einer Spezies (genotypisch) noch das den Organismus einbettende Ökosystem wesentlich oder existenzgefährdend beeinträchtigen muss. Man könnte auch von der Resilienz des Lebendigen sprechen.

Technisch gewendet bedeutet die Umwelt für ein technisches System auch die Gesamtheit der Einflüsse, denen es ausgesetzt ist. Dazu gehört auch der Modus des Bedienens durch den Nutzer und dessen Variationen. Fehlerfreundlichkeit wäre dann hier zu definieren als die Robustheit gegen Fehlbedienung (sog. idiosyncrasische Auslegung).

Bei einem fehlerfreundlichen System erzeugt eine Fehlfunktion von Komponenten nur kleinskalige Schäden. Daher erhöht die Reversibilität von Komponenten resp. Teilsystemen der alten Technologie  $T_{alt}$  (siehe Tabelle 1) die Fehlerfreundlichkeit von Teilsystemen resp. einer Gesamttechnologie einschließlich deren organisatorischen Hülle.

Die Idealvorstellung eines fehlerfreundlichen Systems ist dessen Funktionstüchtigkeit bei starker Varianz der Rahmenbedingungen. Dies kann man auch Fehlertoleranz nennen. Dies müsste dann auch für die Forderung gelten, fehlerfreundliche Technik kulturinvariant zu entwerfen, aufzubauen und zu betreiben. Das bedeutet, dass z. B. Unterschiede in Sprache, Überzeugungen, Qualifikationen, kulturelle Hintergründe und Gewohnheiten der bedienenden Nutzer keine Rolle spielen dürften. Dies ist freilich eine nur in Annäherung erfüllbare Idealvorstellung. Dennoch könnte sie als leitende Idee dienen.



## Gestaltung fehlerfreundlicher Technik

Nach der Diskussion über reversible und irreversible Technologien wird klar, dass reversible Systeme im Gesamten zu einer höheren Fehlerfreundlichkeit führen und zu einer höheren Sicherheit beitragen können. Die Umkehrung gilt nicht unbedingt: Vergleichsweise sichere Systeme können durchaus irreversibel sein, wenn man z. B. an Bunker denkt. Aus der Fehlerfreundlichkeit allein folgt ebenfalls noch keine Reversibilität von Technik. So sind Computer und bestimmte zugehörige Programme heute vergleichsweise fehlerfreundlich gegenüber Bedienungsfehlern, aber nicht notwendigerweise reversibel, ohne die Funktion, die sie erfüllen, zu gefährden. Maßnahmen zur Stärkung der Zuverlässigkeit bestehen klassischerweise darin, die Prävention zu stärken, Systeme robuster zu machen und Reparatur wie Restauration bei Beeinträchtigungen zu erleichtern. Dazu gehören Monitoring, Qualifizierung für Notfallregelungen, Diversifizierung, Dezentralisierung, Aufbau von Redundanzpfaden und Pufferbildung durch Ressourceneffizienz (acatech 2014).

Entsprechend einer allgemeinen ökologisch orientierten Grundüberzeugung gilt Dezentralität per se zu bevorzugen. Dies kann pauschal aber so nicht gesagt werden – eher gilt: Dezentralität so viel wie möglich, Zentralität so viel wie nötig. Dies kann man bei der Diskussion um Energieverteilungssysteme (Leopoldina et al. 2020) sehen. Denn je dezentraler ein System organisiert und verteilt ist, umso eher können die Komponenten reversibel gestaltet werden.

Eine weitere Strategie, die Fehlerfreundlichkeit zu erhöhen, liegt in der Entnetzung überall da, wo es möglich und sinnvoll ist. Diese Forderung ist gänzlich gegen den gegenwärtigen technologischen Zeitgeist, sie ist systemtheoretisch trotzdem richtig. So zeigte die überstürzte Einführung der Voice-over-IP in das ISDN Netz in Deutschland die Fehleranfälligkeit des Vorgehens, alle Eier (Teilsysteme) in einen „technologischen“ Korb zu legen: Fiel das Internet aus, konnte man nicht telefonieren, fiel das Festnetz-Telefon aus, gab es keine Internetverbindung. Parallelität ist teuer, sichert aber Redundanz.

Hinzu kommen Sicherheitsbedenken. Aus der Zuverlässigkeitstheorie kann man bei gekoppelten, also vermaschten Systemen bei viralen Attacken die Wahrscheinlichkeit ausrechnen, dass bei der Infektion eines Teilsystems weitere Teilsysteme infiziert werden. „Vernetzung ist aus der Sicherheitsperspektive immer eine schlechte Idee.“ (Gaycken 2012, S. 234 f.) Dies gilt insbesondere für kritische Strukturen – nach dieser Auffassung haben „kritische Strukturen (...) im Internet nichts verloren.“ (ebd.)

## Gestalten reversibler Technik

Somit ergibt sich die Empfehlung, fehlerfreundliche Systeme anzustreben, indem versucht wird, sie reversibel zu gestalten. Dabei kann man sich zwei Prüffragen vorstellen, die bei vorausschauender Gestaltung von Technik im vorab schon diskutiert werden müssten:

- In welchen Fällen könnte ein Rückzug von der Nutzung einer bereits installierten Technologie („Verzicht auf die Nutzung“) möglich sein? (rechte Hälfte der Tabelle 1)
- Wie können Technologien, die unter den Gesichtspunkten der Sicherheit und der sozialen Verträglichkeit in einem künftigen Stadium nicht mehr geeignet sein werden, noch weiterbetrieben werden? Unter welchen Bedingungen können oder dürfen sie abgeschaltet, abgebaut, wiederverwendet, ersetzt und/oder entsorgt werden? (linke Hälfte der Tabelle 1)

Technik reversibel zu gestalten, bedeutet in einem ersten Schritt, dass man vom Ende her denkt und schon am Anfang entsorgungsgerecht zu konstruieren versucht. Dieses Anliegen fand schon früh in der Forderung nach recyclinggerechter Produktgestaltung (Grieger 1998) oder in der Ende 2000 veröffentlichten, aber bereits Mitte 2002 zurückgezogenen, VDI-Richtlinie „Recyclingorientierte Produktentwicklung“ seinen Ausdruck (VDI 2000). In diesem Zusammenhang steht die Maßgabe, Gesamtsysteme zu modularisieren und bei der Montage die Demontage mit zu bedenken. D. h., dass es der Be-Stückungsmaschine entsprechend auch eine Ent-Stückungsmaschine geben muss und die zugehörige Information hierzu auch langfristig verfügbar ist (Noto Recycling 2020).

Reversibilität bedeutet aber noch mehr als das Denken an Entsorgung und an Kreislaufwirtschaft (Weber und Stuchtey 2019). Reversible Technik sollte auf – und abwärtskompatibel mit bestehender Technik sein, sodass bei Rücknahme Nachbar-technologien „einspringen“ können.

Eine gewisse Kompatibilitätsforderung ist auch hinsichtlich unterschiedlicher Qualifikationen, Sprachen, Kulturen und Bildungsstandards zu bedenken – nicht der Benutzer muss sich in Sprache und Gewohnheit an die Technik anpassen, sondern umgekehrt. Ist dies nicht möglich, müsste sie über kurz oder lang zurückgenommen und ersetzt werden können.

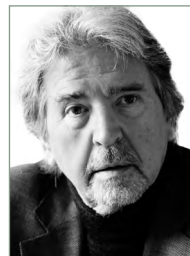
Schließlich könnte man noch sinnfällig fordern, dass jede Automatik im Prinzip abschaltbar sein sollte, um dann durch anderweitige menschliche Steuerung, ggf. auch nur kurzfristig, übernommen zu werden. Die Reichweite einer solchen Forderung wäre vor allem im Hinblick auf den künftigen Einsatz von intelligenten Objekten und der Robotik näher zu erforschen. Zur Diskussion über Reversibilität gehören auch die Geschäftsmodelle, die bei der Installation von AI-Systemen versuchen, diese unverzichtbar zu machen.

Eine Technikfolgenabschätzung, die sich prospektiv versteht, d. h., die Folgen von denkbaren oder erst in der Entwicklung befindlichen Technologielinien erforscht und bewertet, sollte daher auch den Begriff der Reversibilität in ihr Repertoire aufnehmen.

## Literatur

acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften (Hg.) (2014): Resilientech. Resilience-by-Design: Strategie für die technologischen Zukunftsthemen. Online verfügbar unter <https://www.acatech.de/publikation/resilientech-resilience-by-design-strategie-fuer-die-technologischen-zukunftsthemen/>, zuletzt geprüft am 20. 11. 2020.

- Aldag, Ramon (2020): Toxic waste. In: Encyclopaedia Britannica. Online verfügbar unter <https://www.britannica.com/science/toxic-waste>, zuletzt geprüft am 20. 11. 2020.
- Behringer, John (2002): Releasing genetically modified organisms. Will any harm outweigh any advantage? In: *Journal for Applied Ecology* 37 (2), S. 207–214. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2664.2000.00502.x>
- Bergen Jan (2016 a): Reversibility and nuclear energy production technologies. A framework and three cases. In: *Ethics, Policy & Environment* 19, S. 37–59. <https://doi.org/10.1080/21550085.2016.1173281>
- Bergen, Jan (2016 b): Reversible experiments. Putting geological disposal to the test. *Sci Eng Ethics* 22, S. 707–733. <https://doi.org/10.1007/s11948-015-9697-2>
- Berger, Peter; Luckmann, Thomas (2003): *Die gesellschaftliche Konstruktion der Wirklichkeit*. Frankfurt am Main: Fischer TB.
- Borland, John (2008): Analyzing the internet collapse. In: *MIT Technology Review*, 05. 02. 2008. Online verfügbar unter <https://www.technologyreview.com/2008/02/05/222155/analyzing-the-internet-collapse/>, zuletzt geprüft am 20. 11. 2020.
- Chulkov, Dmitriy (2018): On the role of switching costs and decision reversibility in information technology adoption and investment. In: *Journal of Information Systems and Technology Management* 14 (3), S. 309–321. <https://doi.org/10.4301/S1807-17752017000300001>
- CEID – Circular Economy Initiative Deutschland; acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften (Hg.) (2020): *Ressourcenschonende Batteriekreisläufe. Mit Circular Economy die Elektromobilität antreiben*. Acatech: München.
- EIB – European Investment Bank (2020): *The EIB circular economy guide. Supporting the circular transition*. Online verfügbar unter [https://www.eib.org/attachments/thematic/circular\\_economy\\_guide\\_en.pdf](https://www.eib.org/attachments/thematic/circular_economy_guide_en.pdf), zuletzt geprüft am 20. 11. 2020.
- Frank, Michael (2017): The future of computing depends on making it reversible. In: *IEEE Spectrum*, 25. 08. 2017. Online verfügbar unter <https://spectrum.ieee.org/computing/hardware/the-future-of-computing-depends-on-making-it-reversible>, zuletzt geprüft am 20. 11. 2020.
- Gaycken, Sandro (2012): *Cyberwar. Das Wettrüsten hat längst schon begonnen. Vom digitalen Angriff zum realen Ausnahmezustand*. München: Goldmann.
- Grieger, Sven (1998): *Recyclinggerechte Produktgestaltung*. In: Gerhard Pahl (Hg.): Prof. Dr. -Ing. Wolfgang Beitz zum Gedenken. Heidelberg: Springer, S. 133–140. [https://doi.org/10.1007/978-3-662-41164-3\\_29](https://doi.org/10.1007/978-3-662-41164-3_29)
- Hüttl, Reinhard; Klem, Doris; Weber, Edwin (Hg.) (1999): *Rekultivierung von Bergbaufolgelandschaften*. Berlin: De Gruyter. <https://doi.org/10.1515/9783110806441>
- Hwang, Ann (2002): Semiconductors have hidden costs. In: *Worldwatch Institute* (Hg.): *Vital Signs*. New York: W. W. Norton & Company, S. 110–111.
- Kimberly, John (1981): Managerial innovation. In: Paul Nystrom und William Starbuck (Hg.), *Handbook of Organisational Design*. Oxford: Oxford University Press, S. 84–104.
- Kornwachs, Klaus (2000): *Das Prinzip der Bedingungserhaltung*. Münster: Lit.
- Kornwachs, Klaus (2012): *Strukturen technologischen Wissens*. Berlin: Edition Sigma. <https://doi.org/10.5771/9783845269146>
- Kornwachs, Klaus; Niemeier, Joachim (1991): *Technikbewertung und Technikpotentialabschätzung bei kleineren und mittleren Unternehmen*. In: Hans-Jörg Bullinger (Hg.): *Handbuch des Informationsmanagements im Unternehmen*. München: C. H. Beck, S. 1524–1569.
- Leopoldina – Nationale Akademie der Wissenschaften; acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften; Union der deutschen Akademien der Wissenschaften (Hg.) (2020): *Zentrale und dezentrale Elemente im Energiesystem. Der richtige Mix für eine stabile und nachhaltige Versorgung*. Online verfügbar unter [https://www.acatech.de/wp-content/uploads/2020/01/ESYS\\_Stellungnahme\\_zentral\\_dezentral.pdf](https://www.acatech.de/wp-content/uploads/2020/01/ESYS_Stellungnahme_zentral_dezentral.pdf), zuletzt geprüft am 20. 11. 2020.
- Noto Recycling (2020): *International dismantling information system*. Last updated 16. 12. 2020. Online verfügbar unter <https://www.notorecycling.us/facilitate/idis-international-dismantling-information-system.html>, zuletzt geprüft am 04. 05. 2021.
- Pols, Auke; Romijn, Henny (2017): Evaluating irreversible social harms. In: *Policy Science* 50, S. 495–518. <https://doi.org/10.1007/s11077-017-9277-1>
- Ritchie, Hannah; Roser, Max (2018): *Plastic pollution*. Online verfügbar unter <https://ourworldindata.org/plastic-pollution#all-charts-preview>, zuletzt geprüft am 20. 11. 2020.
- Roco, Mihail; Bainbridge, William; Tonn, Bruce; Whitesides, George (Hg.) (2013): *Convergence of knowledge, technology and society*. Cham: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-02204-8>
- Ropohl, Günter (2009): *Allgemeine Technologie. Eine Systemtheorie der Technik*. Karlsruhe: Universitätsverlag Karlsruhe. <https://doi.org/10.5445/KSP/1000011529>
- Schlönhardt, Frank (2008): *Weitgehend bordautonome Verkehrsführung von Flugzeugen als mögliche Perspektive der Luftfahrt*. In: Ingo Matuschek (Hg.): *Luft-Schichten. Arbeit, Organisation und Technik im Luftverkehr*. Berlin: edition sigma, S. 227–238. <https://doi.org/10.5771/9783845268002-227>
- Stokes, Hedley et al. (2017): Status of the iso space debris mitigation standards. In: Tim Flohrer und Friederike Schmitz (Hg.): *Proceedings of the 7th European conference on space debris*, Darmstadt, Germany, 18.–21. 04. 2017. Online verfügbar unter <https://conference.sdo.esoc.esa.int/proceedings/sdc7/paper/979/SDC7-paper979.pdf>, zuletzt geprüft am 20. 11. 2020.
- Trevelyan, James (1998): *Landmines. A humanitarian demining approach*. In: *Asia-Pacific Magazine* 11, S. 42–46.
- VDI – Verein Deutscher Ingenieure (1991): *Technikbewertung. Begriffe und Grundlagen. Erläuterungen und Hinweise zu VDI Richtlinie 3780*. Düsseldorf: VDI.
- VDI (2000): *VDI-Richtlinie 2243, Blatt 1. Recyclingorientierte Produktentwicklung. Zurückgezogen (Juli 2002)*. Düsseldorf: VDI.
- Weber, Thomas; Stuchtey, Martin (Hg.) (2019): *Pathways towards a German circular economy. Lessons from European strategies (Preliminary study)*. München: acatech. Online verfügbar unter <https://www.acatech.de/publikation/deutschland-auf-dem-weg-zur-circular-economy/download-pdf?lang=en>, zuletzt geprüft am 20. 11. 2020.
- Weizsäcker, Christine; Weizsäcker, Ernst (1984): *Fehlerfreundlichkeit*. In: Klaus Kornwachs (Hg.): *Offenheit – Zeitlichkeit – Komplexität. Zur Theorie der Offenen Systeme*. Frankfurt am Main: Campus, S. 167–201.
- Wikipedia (2020): *Nuclear decommissioning*. Online verfügbar unter [https://en.wikipedia.org/wiki/Nuclear\\_decommissioning](https://en.wikipedia.org/wiki/Nuclear_decommissioning), zuletzt geprüft am 03. 12. 2020.



#### PROF. DR. KLAUS KORNWACHS

studierte Physik, Mathematik und Philosophie und hatte bis 2011 den Lehrstuhl für Technikphilosophie an der BTU Cottbus inne. Er forscht und publiziert auf dem Gebiet der analytischen Wissenschaftstheorie, der Ethik und der Technikentwicklung. Er lehrt derzeit an der Universität Ulm. ([www.kornwachs.de](http://www.kornwachs.de))