

Jutta Geldermann

## Integrierte Technikbewertung

- 1      Zukunftsforschung und Technikfolgenabschätzung — **1192**
- 2      Mögliche Technikfolgen in Produktions- und Logistiksystemen — **1194**
- 3      Anlagengenehmigung und Beste verfügbare Techniken (BVT) — **1196**
- 4      Das Prinzip der Nachhaltigkeit — **1198**
- 5      Berücksichtigung der Nachhaltigkeit bei der integrierten  
Technikbewertung im Produktions- und Logistikmanagement — **1199**
- 6      Multikriterielle Entscheidungsunterstützung zur integrierten  
Technikbewertung — **1200**
- 7      Der Umgang mit Risiko im Kontext der Technikfolgenabschätzung — **1204**
- 8      Öffentliche Akzeptanz und Risikokommunikation — **1206**
- 9      Zusammenfassung — **1208**  
Literatur — **1208**

**Zusammenfassung.** Technologischer Fortschritt und sich verändernde wirtschaftliche Rahmenbedingungen wie Regionalisierung und Globalisierung von Produktions-, Handels- und Dienstleistungsbeziehungen wirken sich auf Investitionsentscheidungen im Produktions- und Logistikmanagement aus. Unternehmen müssen daher entscheiden, welche Technologien und Produktionsweisen am besten geeignet sind, eine dauerhafte und nachhaltige Entwicklung angesichts der gegenwärtigen und zukünftigen Herausforderungen mit dem derzeitigen Wissensstand zu gewährleisten. Eine integrierte Technikbewertung dient der Entscheidungsunterstützung vor diesem komplexen Hintergrund. Unterscheidbare Handlungsalternativen, sichtbare Wertmaßstäbe und daraus abgeleitete sowie möglichst objektiv kalkulierbare Entscheidungsgrundlagen bilden die Voraussetzung für eine breite Akzeptanz der industriellen Produktion in der Öffentlichkeit. Insbesondere bei industriellen Großprojekten, wie bei der Realisierung von Infrastrukturmaßnahmen oder dem Bau von neuen Produktionsanlagen. Auch die Kommunikation mit der Gesellschaft über eingegangene Risiken spielt eine entscheidende Rolle.

In diesem Beitrag werden zunächst der Hintergrund und Kontext der integrierten Technikbewertung beschrieben. Als ein methodischer Ansatz wird die multikriterielle Entscheidungsunterstützung zur integrierten Technikbewertung vorgestellt. Zur Berücksichtigung von Unsicherheiten während der langen Nutzungsdauer von Technologien wird auf Aspekte des Risikomanagements eingegangen. Abschließend werden Hinweise für eine angemessene Kommunikation im Kontext der integrierten Technikbewertung gegeben.

# 1 Zukunftsforschung und Technikfolgenabschätzung

Die *Trend- und Zukunftsforschung* umfasst die systematisierte Recherche und Auswertung von Veränderungsprozessen. Als sogenannte Megatrends werden langfristige Entwicklungsperspektiven (über mehrere Jahrzehnte) formuliert und von verschiedenen Verbänden und Institutionen veröffentlicht. In den letzten Jahren wurden vor allem zwei Megatrends mit besonderer Bedeutung für die Industrie genannt:

- Die globale Bedeutung von Umwelt- und Ressourcenschonung, insbesondere vor dem Hintergrund der zunehmenden Weltbevölkerung, und des Klimaschutzes nimmt weiter zu.
- Die Entwicklung der Schwellenländer sowie vor allem die wachsende Rolle Asiens in der Weltwirtschaft beschleunigen die Globalisierung und die Verknappung der natürlichen Ressourcen.

Zur Bewältigung der wirtschaftlichen Herausforderungen, die mit diesen Megatrends einhergehen, wird die Entwicklung von Schlüsseltechnologien forciert. *Schlüsseltechnologien* sind Treiber für Innovationen – vor allem in Anwendungsbereichen wie Automobil, Maschinenbau, Medizintechnik und Logistik. *Technologie* bezeichnet die Kenntnis von natur- beziehungsweise ingenieurwissenschaftlichen Wirkungszusammenhängen, die als Lösungsprinzip von Anwenderproblemen dienen kann. Unter *Technik* hingegen wird die Anwendung von Technologien zur Lösung von Problemen in wirtschaftlich verwertbaren Produkten beziehungsweise Leistung verstanden. Besondere Bedeutung für das Produktions- und Logistikmanagement haben beispielsweise diese Schlüsseltechnologien:

- Im Bereich der Materialwissenschaften beschäftigt sich die *Nanotechnologie* mit der Forschung und Konstruktion in sehr kleinen Strukturen (ein Nanometer (nm) entspricht einem millionstel Millimeter). Sie soll wichtige technologische Lösungsbeiträge zur Energieversorgung (Brennstoff- und Solarzellen), der Umwelttechnik (Materialkreisläufe und Entsorgung) oder Informationstechnik (neue Speicher und Prozessoren) leisten. Viele neue Entwicklungen sind noch weitgehend grundlagenorientiert. Mit Blick auf die Energie- und Ressourceneffizienz in Produktion und Logistik sind Fragen nach einem nachhaltigen Umgang mit Ressourcen, Umwelt- und Gesundheitsverträglichkeit, Freisetzung und Rückholbarkeit, Fehlertoleranz und Reversibilität zu beantworten.
- Innovative Entwicklungen der Informations- und Kommunikationstechnologien bilden die Grundlage für neue Produkte, Verfahren und Dienstleistungen in vielen industriellen und gesellschaftlichen Anwendungsbereichen. Unter dem Schlagwort „Industrie 4.0“ wird die Vernetzung der Produktions- und Logistikprozesse durch eine Digitalisierung, also die digitale Umwandlung und Darstellung von Informationen, vorangetrieben. Die „digitale Fabrik“ soll neuen wirtschaftlichen Nutzen ermöglichen, beispielsweise durch kundenindividuelle Produktion oder kürzere Lieferzeiten.

Das frühzeitige Erkennen technischer Innovationen und Entwicklungen gilt als einer der entscheidenden strategischen Faktoren für die betriebliche, nationale und internationale Wettbewerbsfähigkeit. So ist es für Unternehmen wichtig, neue Entwicklungen in ihren Bereichen zu beobachten und zu entscheiden, mit welcher Technik produziert werden soll oder welche Logistikkonzepte genutzt werden sollen.

Im Innovations- und Technologiemanagement werden verschiedene Instrumente eingesetzt, z. B. Technologiefrüherkennung, Technologiemonitoring, Informations- und Technologietransfer, Technikfolgenabschätzung, Technikbewertung sowie Umsetzungs- und Evaluationsanalysen.

Ein strategisches Instrument zur Ermittlung aussichtsreicher Technologieansätze und zur Verdeutlichung ihres Entwicklungspotenzials ist die *Technologiefrüherkennung*, die als eine Fakten- und Argumentationssammlung im Sinne eines „Für und Wider“ innovativer Technologie betrachtet werden kann. In einem frühen Stadium von Forschung und Entwicklung sollen einerseits Risiken vermieden und eingeschränkt sowie andererseits chancenreiche Entwicklungen forciert werden.

Weil mit Technisierung und industrieller Produktion neben der Schaffung von Lebensqualität und materieller Sicherheit in der Regel auch unerwünschte Nebeneffekte verbunden sein können, wird der technische Fortschritt ambivalent beurteilt. Nicht jeder, der von den Folgen einer Technik betroffen ist, wird diese in der gleichen Weise bewerten (vgl. Renn 2007; Beck 2016). Häufig sind etliche Mitarbeiter im Unternehmen skeptisch gegenüber Veränderungen in den Betriebsabläufen, oder Anwohner in der Nachbarschaft von Produktionsanlagen oder Verkehrsverbindungen befürchten stärkere Belastungen durch eine Ausweitung der unternehmerischen Tätigkeiten. Solche Aspekte sind bei der integrierten Technikbewertung zu berücksichtigen, damit Unternehmen nicht nach einer getroffenen Investitionsentscheidung mit Widerständen konfrontiert sind, wie etwa beim Bau des Bahnhofs „Stuttgart 21“ oder dem Ausbau von Stromleitungen als Folge des Ausbaus der Windkraftanlagen im Zuge der deutschen Energiewende.

Der individuellen und kollektiven Wahrnehmung von Technikfolgen liegt ein Weltbild mit impliziten oder expliziten Schutz- und Entwicklungsanforderungen zugrunde. Die *Technikfolgenabschätzung* (kurz TA, engl. *Technology Assessment*) ist ein Teilgebiet der Technikphilosophie und -soziologie und befasst sich mit Folgen von Technik und Technisierung sowie ihrer gesellschaftlichen Bewertung. So umfassen die Arbeiten des Büros für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB) (vgl. Grunwald 2012):

- die Vorbereitung und wissensbasierte Unterstützung politischer technikrelevanter Entscheidungen,
- die Frühwarnung vor technikbedingten Gefahren und Früherkennung technischer Nutzungspotenziale,
- die Bewältigung von technikbedingten Konflikten durch Schlichtungsverfahren und sozialverträgliche Technikgestaltung, und
- die Ermöglichung gesellschaftlicher Lernprozesse im Umgang mit Technik und in ihrer Aneignung.

Die Richtlinie des Vereins Deutscher Ingenieure (VDI) 3780 „Technikbewertung: Begriffe und Grundlagen“ (1991; 2000) stellt in knapper Form Grundbegriffe und ein theoretisches Bezugssystem bereit und nennt als Werte im technischen Handeln: Funktionsfähigkeit, Gesundheit, Wirtschaftlichkeit, Umweltqualität, Wohlstand, Persönlichkeitsentfaltung, Sicherheit und Gesellschaftsqualität. Zwischen diesen technikbezogenen Werten können Konkurrenzbeziehungen bestehen, so dass Abwägungsprozesse und problembezogene Priorisierungen unvermeidlich sind. Daran wird deutlich, dass eine integrierte Technikbewertung die Berücksichtigung mehrerer Kriterien, die sehr unterschiedlich operationalisiert und quantifiziert werden, erfordert. Dazu bieten Methoden der multikriteriellen Entscheidungsunterstützung (vgl. Abschnitt 6) eine geeignete Hilfestellung.

## 2 Mögliche Technikfolgen in Produktions- und Logistiksystemen

Um Zusammenhänge und Problemdimensionen von Technikfolgen zu erkennen, müssen naturwissenschaftliche Kausalitäten untersucht und die tatsächlichen und möglichen Folgewirkungen auf Mensch und Umwelt analysiert werden (vgl. Hungerbühler/Ranke/Mettier 1999). Neben der Betrachtung des Normalbetriebs sind auch unerwünschte Technikfolgen im Störfall zu bedenken. Störfälle sind oft direkt oder indirekt mit einer Stoff- oder Energiefreisetzung verbunden, die über Ausbreitungsprozesse mit eventuellen Folgeereignissen zu entsprechenden Schäden führen können. Eine Übersicht über sämtliche Neben- und Folgewirkungen eines Technikeinsatzes ist jedoch kaum möglich.

Mögliche Technikfolgen in Produktions- und Logistiksystemen lassen sich nach Intensität und Dauer einer *Exposition* unterteilen, auch wenn sie sich teilweise überschneiden (vgl. Abbildung 1). *Sicherheitsprobleme* betreffen ereignisorientierte Risiken und zeichnen sich durch eine ausgeprägte Dynamik (kurze Zeitkonstanten) und hohe, aber meist lokale Expositionintensitäten aus. Solche Störfallrisiken, z. B. Unfälle, Brände, Explosionen oder der Austritt giftiger oder radioaktiver Substanzen, werden mit dem Instrument der *Prozessrisikoanalyse* untersucht. Ziel der Prozessrisikoanalyse ist die Vorausschau und systematische Verhinderung von *Störfällen*, d. h. von Ereignissen mit Folgeschäden für Mensch, Umwelt oder Sachwerte. Im Rahmen einer iterativen Prozessentwicklung werden dadurch in verschiedenen Entwicklungsphasen Gefahren identifiziert, Risiken beschrieben und geeignete Maßnahmen zur Elimination beziehungsweise Reduktion der Risiken erarbeitet. Verbleibende Restrisiken sind zu beurteilen und auf ein akzeptables Maß zu reduzieren.

Bei der Applikation, dem Gebrauch und der Entsorgung von Produkten sind Aspekte wie Qualität, Effizienz, Sicherheit und Umweltschutz von zentraler Bedeutung. Potenzielle Risiken und Belastungen für Mensch und Umwelt werden mit Hilfe einer

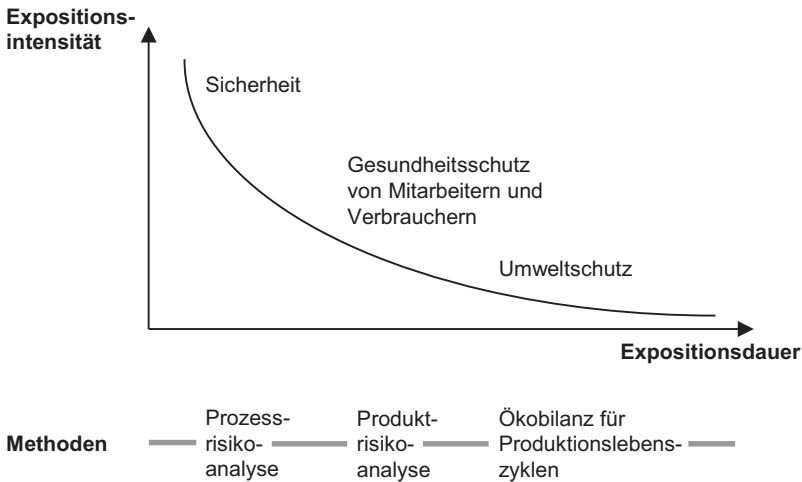


Abb. 1: Einordnung von Sicherheit, Gesundheits- und Umweltschutz nach Hungerbühler et al. (1999).

Produkt- risiko- analyse untersucht. Das Prinzip der *Produkt- risiko- analyse* beruht auf einem Vergleich der Wirkungsschwelle eines Stoffes mit Konzentrationen, denen die Schutzgüter Mensch und Umwelt ausgesetzt sind. Die Produkt- risiko- analyse umfasst insbesondere die Expositionsanalyse (Abklären der auftretenden Einwirkungen auf Mensch und Umwelt) und die Wirkungsanalyse (Untersuchung der schädlichen Effekte).

Die spezifischen Probleme des *Umweltschutzes* resultieren aus der Summe einer Vielzahl von inkrementellen Einwirkungen von freigesetzten Stoffen verteilt über Raum und Zeit. Entsprechende Wirkungen liegen bei tiefen und oft unbekanntem Belastungsschwellen sowie bei langen Expositionzeiten vor (z. B. bei Schädwirkungen von produktspezifischem Abwasser, Abluft, Abfall etc. aus Punktquellen sowie aus diffusen Quellen). Solche potenziellen Langzeitauswirkungen werden in der *Ökobilanz* (engl. *Life Cycle Assessment – LCA*) erfasst. Mit der Formulierung einer internationalen Norm im Jahr 1996 (DIN EN ISO 14040 ff.) wurde ein allgemein anerkannter methodischer Rahmen für die Ökobilanz festgelegt. Sie dient der Abschätzung der mit einem Produkt verbundenen und potentiellen Umweltwirkungen, indem sie sich auf die Umweltaspekte und potentiellen Umweltwirkungen (z. B. Nutzung von Ressourcen und die Umweltauswirkungen von Emissionen) im Verlauf des Lebensweges eines Produktes von der Rohstoffgewinnung, über Produktion, Anwendung, Abfallbehandlung, Recycling bis zur endgültigen Beseitigung (d. h. „von der Wiege bis zur Bahre“) erstreckt.

Aus der Betrachtung der möglichen Technikfolgen in Produktions- und Logistiksystemen ergeben sich fallspezifische und unternehmensindividuelle Bewertungskriterien für die integrierte Technikbewertung, die von verantwortungsvollen Unternehmen bei Investitionsentscheidungen ins Kalkül gezogen werden.

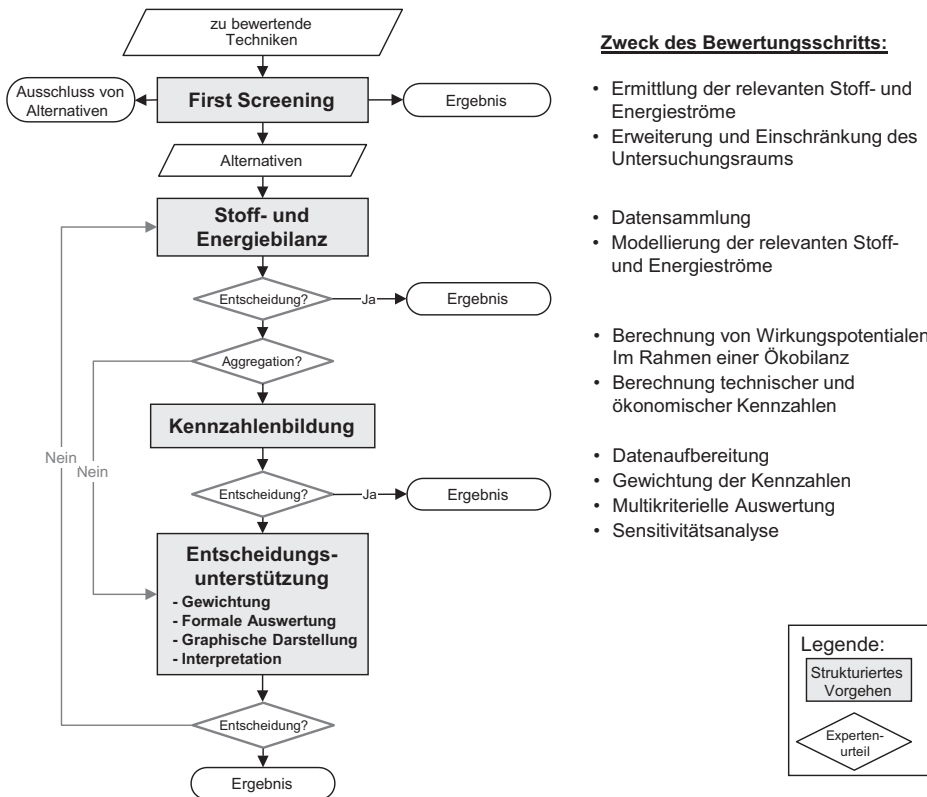
### 3 Anlagengenehmigung und Beste verfügbare Techniken (BVT)

Beim Bau und Betrieb von Industrieanlagen ist eine Vielzahl von rechtlichen Regelungen einzuhalten und zu erfüllen. In Deutschland unterliegen Anlagen, „die auf Grund ihrer Beschaffenheit oder ihres Betriebes besonders schädliche Umwelteinwirkungen verursachen können“, der Genehmigungspflicht nach dem Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG). Betroffen sind zahlreiche Industrieanlagen z. B. aus der Energiewirtschaft, mineralverarbeitenden Industrie, chemischen Industrie, Abfallbehandlung, Holz- und Papierindustrie, Nahrungsmittelindustrie oder zur Oberflächenbehandlung mit organischen Lösungsmitteln. Die Genehmigungspflicht dieser Anlagen ist in der 4. BImSchV (Bundes-Immissionsschutzverordnung) geregelt, und es werden „förmliche Genehmigungsverfahren mit Öffentlichkeitsbeteiligung“ und „vereinfachte Verfahren“ unterschieden. Die zuständigen Genehmigungsbehörden prüfen, ob durch Bau- und Investitionsvorhaben nachteilige Umweltauswirkungen hervorgerufen werden können.

Grundlage für die Genehmigungsentscheidung ist das Konzept der *Besten verfügbaren Techniken (BVT)*, die dem traditionell verwendeten Begriff des *Standes der Technik* entsprechen. Technik bedeutet dabei „sowohl die angewandte Technologie als auch die Art und Weise, wie die Anlage geplant, gebaut, gewartet, betrieben und stillgelegt wird“. Eingeführt wurde das Konzept der BVT durch die europäische IVU-Richtlinie 96/61/EG (Richtlinie über die integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung), um ein einheitliches möglichst hohes Umweltschutzniveau in allen EU-Mitgliedstaaten sowie einheitliche Umweltstandards und damit gleichwertige Wettbewerbsbedingungen in Europa zu schaffen. Zur Stärkung der BVT-Vorgaben bei der Anlagengenehmigung, zur Durchsetzung der Anforderungen auch für Altanlagen und zur Verschärfung von Emissionsgrenzwerten hat die Richtlinie über Industrieemissionen 2010/75/EU (IE-Richtlinie) die IVU-Richtlinie (96/61/EG) sowie ihre Novellierung 2008/1/EG) inzwischen ersetzt.

Die Europäische Kommission hat mehr als 30 „BVT-Merkblätter“ zu den besten verfügbaren Techniken für die betroffenen Industriezweige veröffentlicht, die bei der Anlagengenehmigung zu berücksichtigen sind. Darin werden Grenzwerte für Emissionen in die Luft, in das Wasser und Grundwasser sowie in den Boden genannt. Weitere wichtige Aspekte sind Energieverbrauch, Emission von Partikeln in die Luft, Abfallreduzierung und -management (einschließlich der Verringerung des Rohstoffverbrauchs) sowie Anlagenstilllegung. Damit wird ein umfassender und (Umwelt-)medienübergreifender Umweltschutzansatz verfolgt. Die BVT-Merkblätter enthalten umfangreiche und nützliche Informationen für die Vorbereitung von Investitionsentscheidungen in den betroffenen Industriezweigen.

Für die Bestimmung der besten verfügbaren Techniken wurde erstmals ein Ablaufschema für eine integrierte Technikbewertung entwickelt und exemplarisch im



**Abb. 2:** Ablaufschema einer integrierten Technikbewertung nach Geldermann et al. (1999).

Sektor Eisen- und Stahlerzeugung angewendet (vgl. Geldermann et al. 1999). In Anlehnung an die Phasen der Ökobilanz und an Problemlösungsansätze aus der Systemtheorie bietet das Ablaufschema ein allgemein anwendbares Konzept zur Entscheidungsunterstützung, das an die spezifischen Anforderungen im konkreten Anwendungsfall angepasst werden kann und dennoch ein konsistentes Vorgehen erlaubt. Durch den Einsatz von Methoden zur multikriteriellen Entscheidungsunterstützung ist es möglich, neben Kennzahlen aus der Ökobilanzierung auch technische und wirtschaftliche Kennzahlen sowie weitere Kriterien im Bewertungsprozess zu berücksichtigen. Dieser generische Ansatz zur integrierten Technikbewertung kann auch von Unternehmen zur Unterstützung von weitreichenden Investitionsentscheidungen angewendet werden.

## 4 Das Prinzip der Nachhaltigkeit

Weitreichender als die Betrachtung der möglichen Technikfolgen in Produktions- und Logistiksystemen und als ein medienübergreifender Umweltschutz ist das Prinzip der Nachhaltigkeit. Nachhaltigkeit im ökonomischen Sinne bedeutet eine effiziente Allokation der knappen Güter und Ressourcen. Im ökologischen Sinne bedeutet Nachhaltigkeit, die Grenze der Belastbarkeit der Ökosphäre nicht zu überschreiten und die natürlichen Lebensgrundlagen zu erhalten. Das Prinzip der Nachhaltigkeit wurde vor allem durch die Weltkommission für Umwelt und Entwicklung (Brundtland-Kommission) der UN seit 1987 geprägt. Ziel ist eine dauerhaft zukunftsfähige Entwicklung der ökonomischen, ökologischen und sozialen Dimension menschlicher Existenz. Diese sogenannten drei Säulen der Nachhaltigkeit stehen miteinander in Wechselwirkung und bedürfen langfristig einer ausgewogenen Koordination:

- *Ökologische Dimension:* Beachten der Tragfähigkeit des Ökosystems Erde, insbesondere von Boden, Wasser, Luft und Biosphäre in Bezug auf die Nutzung als Quelle von Ressourcen sowie als Senke für Abfälle, so dass die natürlichen Lebensgrundlagen nur in dem Maße beansprucht werden, wie diese sich regenerieren.
- *Ökonomische Dimension:* Effizienter Einsatz von Ressourcen in der Produktion zur Verbesserung der allgemeinen Lebensqualität. Allgemein gilt eine Wirtschaftsweise dann als nachhaltig, wenn sie dauerhaft betrieben werden kann und nicht zu Einbußen der nachkommenden Generationen führt.
- *Soziale Dimension:* Orientierung an der Humanität als Leitgröße, d. h. an Werten wie Chancengleichheit, Förderung des gesellschaftlichen Zusammenhalts und der kulturellen Identität sowie der Entwicklung demokratischer Institutionen. Ein Staat oder eine Gesellschaft sollte so organisiert sein, dass sich die sozialen Spannungen in Grenzen halten und Konflikte nicht eskalieren, sondern auf friedlichem und zivilem Wege ausgetragen werden können. Für die Beurteilung der sozialen Nachhaltigkeit von Produktionsprozessen stehen allerdings bislang noch keine abgestimmten und allgemein anerkannten Methoden zur Verfügung (vgl. Eigner-Thiel et al. 2013).

Die gesellschaftliche Verantwortung von Unternehmen im Sinne eines nachhaltigen Wirtschaftens wird mit dem Begriff „Corporate Social Responsibility“ (CSR) bezeichnet und umfasst ebenfalls soziale, ökologische und ökonomische Aspekte. Diese sind in international anerkannten Referenzdokumenten zur Unternehmensverantwortung festgelegt, wie beispielsweise die grundlegenden Arbeits- und Sozialstandards in den Konventionen der Internationalen Arbeitsorganisation (ILO, engl. International Labour Organization) oder den OECD-Leitsätzen für multinationale Unternehmen mit Empfehlungen zu den Bereichen Beschäftigung und Beziehungen zu den Sozialpartnern, Menschenrechte, Umwelt, Bekämpfung von Korruption, Verbraucherinteressen,



Wettbewerb und Besteuerung. Die Leistung eines Unternehmens in Bezug auf soziale, ökologische und ökonomische Aspekte wird auch als Triple Bottom Line (abgekürzt als „TBL“) in Anlehnung an die drei Säulen der Nachhaltigkeit bezeichnet.

## 5 Berücksichtigung der Nachhaltigkeit bei der integrierten Technikbewertung im Produktions- und Logistikmanagement

Das Leitbild Nachhaltigkeit ist zwar inzwischen allgemein akzeptiert, aber diffus formuliert. Daher ist es nicht einfach dieses zu operationalisieren, so dass es in die Spezifikation von Technikentwicklungen wie ein technisches oder ökonomisches Leistungsmerkmal aufgenommen werden kann. Ferner stehen etliche Nachhaltigkeitsaspekte zueinander im Zielkonflikt. Technische Produkte oder Systeme sind nicht per se entweder nachhaltig oder nicht nachhaltig.

Beim Versuch der Operationalisierung des Konzepts der Nachhaltigkeit wird deutlich, dass jegliche Indikatoren (wie Rohstoffverbrauch, Schadstoffkonzentrationen oder Flächenversiegelung) faktisch nur innerhalb eines räumlich und zeitlich begrenzten Rahmens beobachtet werden können. Diese Beschränkung der Operationalisierung steht im Widerspruch zum globalen Prinzip der Nachhaltigkeit und führt oft zu Kontroversen (vgl. Jischa 2014).

Offen bleibt außerdem die Frage der Gewichtung der drei Dimensionen der Nachhaltigkeit in einer konkreten Technikbewertung. Allgemein gültige Kennzahlen oder feste Berechnungsgrundsätze können nicht von Wissenschaft oder Politik vorgegeben werden, sondern nur fallspezifisch bei der Auswahl von Produktionstechnologien formuliert werden. Dadurch wird die Auswahl von neuen Techniken zu einem schwierigen Entscheidungsproblem, weil vielfältige Auswirkungen nicht nur im eigenen Unternehmen, sondern auch in unternehmensübergreifenden Produktions- und Logistiksystemen zu beachten sind.

Abbildung 3 gibt einen Überblick über Umfeld, Informationsquellen, Analyseinstrumente und Evaluationskriterien für eine umfassende Analyse von Produktions- und Logistikprozessen. Im Rahmen einer integrierten Technikbewertung gilt es, die für das Unternehmen und seine spezifische Zielsetzung entscheidungsrelevanten Informationen zu ermitteln und auszuwerten.

Weitreichende unternehmerische Entscheidungen sind gegenüber den relevanten Anspruchs- beziehungsweise Interessengruppen (engl. *Stakeholder*), unter anderem Mitarbeitern, Behörden, Gesetzgebern, Kunden und der übrigen Gesellschaft, zu vertreten. Als „Stakeholder“ sind im Allgemeinen Personen gemeint, die involviert sind oder sich für betroffen halten (vgl. French/Geldermann 2005). Dabei ist zu beachten, dass deren Ansichten nicht repräsentativ sein müssen für die „stille Mehrheit“, die

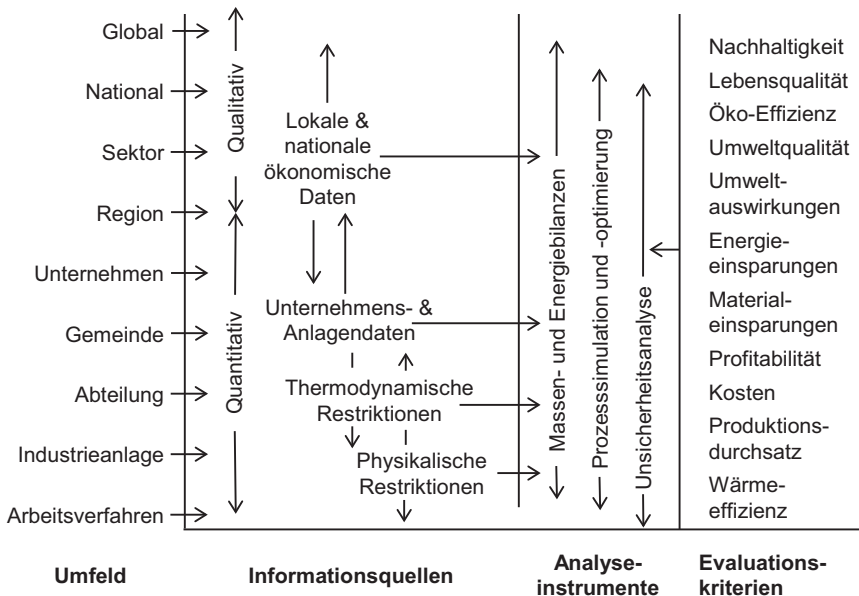


Abb. 3: Ein konzeptioneller Rahmen zur Prozessanalyse (Quelle: Diwekar/Small 2002).

ein Mitwirken an der Politikgestaltung ablehnt. Damit weitreichende unternehmerische Entscheidungen nicht nachträglich am Widerstand von Stakeholdern scheitern, sollten im Rahmen einer integrierten Technikbewertung nachvollziehbare und transparente Argumente für die Auswahl der präferierten Technik im Vergleich zu alternativen Lösungsansätzen identifiziert und dargestellt werden.

## 6 Multikriterielle Entscheidungsunterstützung zur integrierten Technikbewertung

Formal betrachtet ist eine integrierte Technikbewertung ein Entscheidungsproblem mit mehreren Kriterien, die teilweise zueinander im Zielkonflikt stehen, und mit mehreren Alternativen, die mit weitreichenden sowie langfristigen Konsequenzen verbunden sind. Zur Entscheidungsvorbereitung können Methoden der multikriteriellen Entscheidungsunterstützung eingesetzt werden (vgl. Geldermann 2006; Geldermann/Lerche 2014; Greco/Ehrgott/Figueira 2016). Basierend auf entscheidungstheoretischen Erkenntnissen sollen fundierte und nachvollziehbare Entscheidungen ermöglicht und dabei praktische Restriktionen wie Zeit und Aufwand berücksichtigt werden.

Die sogenannten MADM-Methoden (MADM = Multi Attribute Decision Making) werden eingesetzt, um aus einer endlichen Anzahl diskreter Alternativen als Ergebnis entweder die beste Alternative zu identifizieren (Selektion), die Alternativen anhand der Kriterienausprägungen vorher definierten Gruppen zuzuordnen (Sortierung) oder eine Rangfolge zu bilden (Ordnung).

Wichtige Voraussetzung für eine gelungene Entscheidungsunterstützung ist die Klärung der verfolgten Ziele. Ein Ziel stellt hierbei die Beschreibung eines zukünftigen, vom Status quo verschiedenen und erwünschten Zustands dar, beispielsweise ein nachhaltigeres Produktions- oder Logistiksystem. Neben dem Zielsystem umfasst ein Entscheidungsmodell die Alternativen, Kriterien und Gewichtungen.

*Alternativen* stellen die potenziellen Wahlmöglichkeiten dar, die für die Lösung des Entscheidungsproblems betrachtet werden. Bei der integrierten Technikbewertung sind dies die zur Auswahl stehenden Technologien oder Investitionsvorhaben.

*Kriterien* sind messbare Attribute, die für sämtliche Alternativen die Zielerreichung, z. B. Nachhaltigkeit, konkretisieren. Neben dem Begriff Attribut werden auch die Bezeichnungen Leistungsparameter, Charakteristika, Kennzahlen oder Kriterienausprägungen verwendet. Eine Kriterienhierarchie verdeutlicht die Struktur und die Zusammenhänge zwischen verschiedenen Unterzielen und den damit verbundenen Kriterien.

Um anhand der gesammelten Informationen zu den Alternativen und ihren Kriterienausprägungen zu einer Bewertung oder Entscheidung zu gelangen, sind die *Präferenzen* des Entscheiders zu berücksichtigen.

So gibt die *Höhenpräferenz* an, inwieweit eine Maximierung oder Minimierung eines Kriteriums angestrebt wird und wie stark Unterschiede in den Kriterienausprägungen gewertet werden.

Die *Artenpräferenz* beschreibt die Wichtigkeit der einzelnen Ziele und der damit verbundenen Kriterien für das Gesamtproblem aus Sicht des Entscheiders. Dazu wird jedem Kriterium ein *Gewichtungsfaktor* zugeordnet, der dessen subjektiv empfundene Bedeutung in Relation zu den anderen Kriterien widerspiegelt. Die Summe der Gewichte aller Kriterien muss 100 % ergeben. Zur Ermittlung der Kriteriengewichte gibt es verschiedene Vorgehensweisen, z. B. die direkte Vergabe oder die Verwendung von Punkten als Richtwerte wie bei SMART und SWING, die anschließend in Prozentwerte umgerechnet werden (vgl. Pöyhönen/Hämäläinen 2001).

Trotz aller Bemühung um Objektivierung der Vergabe der Gewichtungsfaktoren werden subjektive Einflüsse beim Vergleich der Wichtigkeit von verschiedenen, oft konfliktären Kriterien auftreten (vgl. Hämäläinen 2015). Letztendlich handelt es sich bei der integrierten Technikbewertung um unternehmerische oder politische Entscheidungen mit unterschiedlich ausgeprägten Meinungsbildungsprozessen.

Zur Aggregation der Entscheidungstabelle, die Kriterienausprägungen zu jeder Alternative und die Gewichtung der Kriterien umfasst, gibt es viele verschiedene MADM-Methoden (vgl. Greco/Ehrgott/Figuera 2016). Nachfolgend wird nur der Ablauf der am weitesten verbreiteten Methoden grob zusammenfassend skizziert, da

zum genauen Verständnis ein detailliertes Nachvollziehen der konkret verwendeten Algorithmen notwendig ist.

Wesentlich ist die Unterscheidung zwischen den MADM-Methoden der amerikanischen und der europäischen Schule, die sich primär durch die Annahme abgrenzen, inwieweit der Entscheidungsträger seine Präferenzen ausdrücken kann. Die amerikanischen Methoden, z. B. AHP (Analytical Hierarchie Process), ANP (Analytical Network Process), MAUT (Multi Attribute Utility Theory), gehen davon aus, dass der Entscheider stets in der Lage ist, seine Präferenzen korrekt zu äußern, um darauf basierend eine subjektiv beste Alternative zu ermitteln.

Die europäischen Methoden, z. B. PROMETHEE (vgl. Brans/Smet 2016) oder ELECTRE (vgl. Figueira/Mousseau/Roy 2016), basieren auf der Annahme, dass der Entscheider nicht eindeutig die Präferenzen angeben kann, so dass in diesen sogenannten Outranking-Verfahren durch paarweise Vergleiche auch widersprüchliche Informationen berücksichtigt und ausgewertet werden können. Über die aktive Auseinandersetzung mit dem Entscheidungsproblem soll der Entscheider zusätzliche Informationen gewinnen, um ein besseres Verständnis für das Problem als Ganzes zu entwickeln.

In den meisten MADM-Methoden werden schlussendlich die Präferenzen des Entscheiders mit Hilfe von Nutzen- oder Präferenzfunktionen abgebildet. Damit werden die Kriterienausprägungen, die in den unterschiedlichsten Maßeinheiten quantifiziert sein können, in dimensionslose Nutz- oder Präferenzwerte im Intervall  $[0, 1]$  überführt. Unter Verwendung der Gewichtungsfaktoren werden die Nutz- oder Präferenzwerte einer Alternative weiter aggregiert, so dass sich schließlich eine Rangfolge der untersuchten Alternativen ergibt. Sensitivitätsanalysen und graphische Ergebnisdarstellungen erlauben ein tiefergreifendes Verständnis des Entscheidungsproblems.

Voraussetzung für eine formal korrekte Abbildung des Zielsystems durch das Entscheidungsmodell sind mehrere Anforderungen an die Kriterien. Zum einen müssen sie *vollständig* sein, d. h. dass sämtliche entscheidungsrelevante Ziele erfasst wurden. Zum anderen sollten sie möglichst *redundanzfrei* sein, sodass nicht mehrere Kriterien eine identische Aussage haben. Die Kriterien sollten zudem gut *messbar* sein, d. h. dass die Zielerreichung möglichst genau ermittelt werden kann. Zwischen den Kriterien soll zudem eine *Präferenzunabhängigkeit* vorherrschen, d. h. dass der Entscheider seine Präferenz hinsichtlich der verschiedenen Ausprägungen äußern kann, ohne dass er hierfür die Ausprägungen hinsichtlich eines anderen Kriteriums kennt. Letztlich sollten die Kriterien einfach gehalten werden, indem die Anzahl an Kriterien möglichst gering ist und diese leicht verständlich ausformuliert werden. Diese formalen Anforderungen sind allerdings in realen Entscheidungsproblemen selten erfüllbar. Beispielsweise wird der Treibstoffverbrauch zum Antrieb von Maschinen und Fahrzeugen bei der Technikbewertung sowohl in den ökonomischen Kriterien etwa als „Betriebskosten“ als auch bei den ökologischen Kriterien als „CO<sub>2</sub>-Emissionen“ berücksichtigt, und häufig erfordern emissionsärmere Techniken höhere Investitionen. Um den Datenerhebungsaufwand einzugrenzen, werden bei der integrierten Technik-

bewertung meist nur die entscheidungsrelevanten Kriterien betrachtet, anhand derer eine Unterscheidung der betrachteten Alternativen möglich ist.

Bei der multikriteriellen Entscheidungsunterstützung wird zwischen verschiedenen Akteuren unterschieden, die in den strukturierten Entscheidungsprozess involviert sind. Diese Unterscheidung ist insbesondere bei der integrierten Technikbewertung als komplexes Entscheidungsproblem wichtig:

- Der *Analyst* gewährleistet die korrekte Anwendung der Methode und die Bedienung der MADM-Software. Er ist neutral gegenüber dem zu erzielenden Ergebnis und hat die Aufgabe, den oder die Entscheider durch den Prozess zu führen und die korrekte Anwendung der Methode zu gewährleisten. Unterstützend können Moderationsmethoden angewendet werden, um die Kommunikation und den Informationsfluss in Workshops zur Durchführung der integrierten Technikbewertung zu gewährleisten.
- Der *Entscheidungsträger* kann ein Einzelner (z. B. der Käufer einer Maschine oder die Inhaberin eines Einzelunternehmens) oder eine Gruppe von Personen (z. B. die Geschäftsführung einer GmbH) sein. Bei Großinvestitionen, beispielsweise in der Energiewirtschaft oder bei Infrastrukturprojekten, werden Entscheidungen selten durch einzelne Personen getroffen, wenn etwa umfangreiche Genehmigungsverfahren, teilweise mit Bürgerbeteiligung, vor der eigentlichen Investition zu durchlaufen sind.
- Als *Stakeholder* werden die Personen bezeichnet, die sich von Konsequenzen der Entscheidung betroffen fühlen, aber die Entscheidung selber nicht beeinflussen können. Im Rahmen einer integrierten Technikbewertung sollten die Präferenzen der Stakeholder bei der Erstellung der Kriterienhierarchie und gegebenenfalls in verschiedenen Szenarioberechnungen berücksichtigt werden. Insbesondere das Marketing stellt zahlreiche methodische Ansätze zur Kundenanalyse bereit, während die Umweltpsychologie Fragen zur Beziehung zwischen Mensch und Umwelt ergründet.

Methoden der multikriteriellen Entscheidungsunterstützung dienen vor allem der Strukturierung der Prozesse zur integrierten Technikbewertung. Sie stellen einen Ansatz dar, objektive Daten mit subjektiven Präferenzen bei gleichzeitiger Berücksichtigung mehrerer, teilweise konfliktärer Ziele zu verknüpfen, um Kompromisslösungen zu ermitteln. Damit kann der Entscheidungsprozess transparent gestaltet werden und allen Beteiligten ein besseres Verständnis für das komplexe Entscheidungsproblem vermittelt werden.

Allerdings sind die meisten Methoden der multikriteriellen Entscheidungsunterstützung deterministisch, da sie für jede betrachtete Alternative eindeutig bestimmbare Kriterienausprägungen annehmen und der Prozess der Entscheidungsfindung vorrangig auf das Auflösen von Zielkonflikten ausgerichtet ist (vgl. Stewart/French/Rios 2013). Zur Untersuchung von Unsicherheiten werden verschiedene Arten von Sensitivitätsanalysen sowie MADM-Methoden, die Intervalle oder Fuzzywerte der Kri-

terienausprägungen auswerten können, eingesetzt. Damit können allerdings nur moderate Unsicherheitsbereiche methodisch berücksichtigt werden, wie sie sich durch Messfehler oder Modellierungsungenauigkeiten etwa bei ökobilanziellen Wirkungsindikatoren ergeben. Wesentliche Risiken und Ungewissheiten, die über die nähere Betrachtung der technischen und ökonomischen Kennzahlen einer zu beurteilenden Technik hinausgehen, können mit Hilfe der *Szenariotechnik* untersucht werden. Um verschiedene Sichtweisen und Perspektiven in komplexen Entscheidungssituationen zu beleuchten, sollte die Szenariotechnik in moderierten Workshops angewendet werden. Als Szenarien werden denkbare zukünftige Zustandsbeschreibungen definiert, die dann aus verschiedenen Blickwinkeln untersucht werden. Zudem können diffus formulierte Zielvorgaben durch den Vergleich unterschiedlicher Szenarien transparent und nachvollziehbar werden (vgl. Jischa 2014).

## 7 Der Umgang mit Risiko im Kontext der Technikfolgenabschätzung

Im Kontext der integrierten Technikbewertung sollten im Rahmen der Szenarioanalyse denkbare Risiken, die vom Technikeinsatz in Extremfällen ausgehen können, mit bedacht werden. Unwetter, Naturkatastrophen, Anschläge und Infrastrukturausfälle sind seltene, aber plötzlich eintretende Ereignisse, die nur in begrenztem Umfang beeinflusst werden können, jedoch zu schwerwiegenden Folgen in Produktions- und Logistiksystemen führen können (vgl. Geldermann 2014). Art und Ausmaß der Auswirkungen hängen sowohl von der Risikoart als auch von den technischen und organisatorischen Eigenschaften des jeweiligen Unternehmens und seiner Produktionsprozesse ab. Häufig wird ein probabilistischer Risikobegriff verwendet, der das Risiko über eine Eintrittswahrscheinlichkeit eines (meist negativen) Ereignisses beschreibt. So kann beispielsweise in der Finanzmathematik das Risiko  $R_n$  als Produkt der Eintrittswahrscheinlichkeit  $p_n$  eines Ereignisses  $n$  und dem Schadensausmaß (Ausmaß der Auswirkungen)  $S_n$  berechnet werden.

In der Entscheidungstheorie wird der Risikobegriff explizit gegen den Begriff Unsicherheit abgegrenzt. Während bei Entscheidungen *unter Risiko* dem Entscheider die Wahrscheinlichkeitsverteilung möglicher Ausgänge vorliegt, ist diese bei Entscheidungen *unter Unsicherheit* nicht bekannt. In beiden Fällen ist die tatsächliche zukünftige Entwicklung jedoch ungewiss.

Statistische Wahrscheinlichkeitswerte lassen sich für sogenannte *Normalrisiken* ermitteln. Bei technischen Risiken zählen zum Normalrisiko auch *Störfälle*, d. h. Ereignisse, die in einer Anlage vorausgesehen und in der Auslegung berücksichtigt werden können. *Unfälle* gehören dagegen in den Bereich des *Restrisikos*, das trotz der sicherheitstechnischen Auslegung von Anlagen stets verbleibt. Das Restrisiko setzt sich zusammen aus (vgl. Hungerbühler/Ranke/Mettier 1999)

- dem bewusst in Kauf genommenen Risiko,
- dem erkannten, aber falsch beurteilten Risiko und
- den nicht erkannten Gefahren.

Um Risiken und ihre möglichen Folgen zu reduzieren, ist ein industrielles Risikomanagement wichtig. Im Wesentlichen umfasst es die drei Aspekte der Antizipation und Vorbeugung (engl. *Prevention*), der Krisenbewältigung (engl. *Crisis Response*) und der Sanierungsmaßnahmen (engl. *Rehabilitation*). Ziele des Risikomanagements sind die Vermeidung existenzbedrohender Risiken, die Minimierung eventuell auftretender Schäden sowie die Sicherung der Akzeptanz bei den Stakeholdern. Der komplette Risikomanagementprozess umfasst im Allgemeinen die folgenden Schritte:

- Die *Risikoanalyse* umfasst die *Risikoidentifikation* und die *Risikobewertung*. Um Aussagen über den Handlungsbedarf bezüglich der Risiken und deren Priorisierung treffen zu können, sind die identifizierten Risiken zu bewerten. Dabei werden die mit den Risiken verbundenen Gefahrenpotenziale transparent gemacht und die Auswirkungen quantifiziert. Zentrale Punkte der Risikobewertung sind daher meist die Bestimmung der Eintrittswahrscheinlichkeit und des Schadensausmaßes eines Risikos.
- Zur *Risikobewältigung* kommen je nach Handlungsebene und Risikoart verschiedene Strategien und Maßnahmen zum Einsatz. Durch eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung wird der mit der jeweiligen Maßnahme verbundene Aufwand in Bezug zur erwarteten Risikominderung gesetzt, um die Effizienz der Implementierung von Maßnahmen abzuschätzen. Typische Strategien zur Risikobewältigung sind *Risikovermeidung*, *Risikoverminderung*, *Risikodiversifikation*, *Risikotransfer* und *Risikovorsorge*.
- Die *Risikoüberwachung* dient der kontinuierlichen Überprüfung der Wirksamkeit und Aktualität des industriellen Risikomanagements, sowohl hinsichtlich der Einzelrisiken und deren dynamische Entwicklung als auch der Prozessabläufe des Risikomanagements selbst.

Bei einer Risikoanalyse geht es darum, über das trotz aller Maßnahmen noch verbleibende Risiko Rechenschaft abzulegen. Gerade für Unfallszenarien und sehr seltene Ereignisse ist eine wissenschaftliche Risikobetrachtung problematisch, da die Ergebnisse in Abhängigkeit von den zugrunde gelegten Szenario-Annahmen häufig stark divergieren. Während sich eine Vielzahl wissenschaftlicher Arbeiten mit dem Management von operativen Prozessrisiken (z. B. Verfahrensrisiken, Umweltrisiken) oder Finanzrisiken befasst, stehen in anderen Studien und Untersuchungen der Umgang mit Naturrisiken, die Analyse von Infrastrukturrisiken oder die Untersuchung von Supply Chain Risiken im Mittelpunkt. Infrastrukturrisiken (wie Stromausfälle oder Unterbrechung der Wasserversorgung) können gravierende Auswirkungen auf die Funktion von Produktionsanlagen und Logistiksystemen haben. Infrastruktursysteme, deren Ausfall oder Störung schwerwiegende ökonomische, technische, ökologische oder so-

ziale Folgen nach sich ziehen können, werden daher als kritische Infrastrukturen bezeichnet und bedürfen einer besonders sorgfältigen integrierten Technikbewertung.

Welche Risiken bei einer integrierten Technikbewertung berücksichtigt werden sollen, kann nicht allgemeingültig vorgegeben werden, sondern orientiert sich an der Risikokultur, an unternehmens- oder situationsspezifischen Eigenschaften (z. B. betroffene Branche, gesetzliche Vorgaben, räumliche Ausdehnung), an der Betrachtungs- beziehungsweise Planungsebene (strategisch, taktisch, operativ) sowie an den generellen Zielen des Risikomanagements.

## 8 Öffentliche Akzeptanz und Risikokommunikation

Wesentlicher Bestandteil einer gelungenen Entscheidungsunterstützung ist eine breite Akzeptanz der gefundenen Kompromisslösung. Daher sind die Schaffung der Voraussetzungen für die öffentliche Akzeptanz sowie die angemessene Kommunikation der mit der ausgewählten Technik verbundenen Risiken wichtige Aufgaben der integrierten Technikbewertung für weitreichende Investitionsentscheidungen.

Fortschreitender technischer Wandel und technische Innovationen sind teilweise mit Risiken behaftet, doch natürliche, gesellschaftliche oder technische Risiken haben seit jeher das menschliche Leben bedroht (vgl. Jischa 2014; Hungerbühler/Ranke/Mettier 1999). Erst die fortschreitende Technisierung führte zu einer Gefahrenverlagerung von der Natur zur menschengeschaffenen Technik, so dass Sicherheit mehr und mehr zu einer Frage der technischen Experten und von technischen Normen wurde. Durch das Zusammenwirken unzähliger Einflussfaktoren werden technische Gesamtrisiken immer vernetzter und damit eine integrierte Technikbewertung in komplexen Produktions- und Logistiksystemen auch für Experten immer ungewisser. Darüber hinaus erschwert der gesellschaftliche oder weltweite Wertepluralismus eine einvernehmliche Technikbewertung. Die Zielvorstellung eines Wohlstands ohne Risiko hat sich als Utopie und die Technik in ihren Auswirkungen als ambivalent erwiesen. So wird Fortschritt ebenso wie Nicht-Fortschritt zum Risiko. Vor diesem Hintergrund stellt sich die grundsätzliche Frage, welches Risiko eine Gesellschaft angesichts des zu erwartenden Nutzens eingehen will.

Die Beantwortung dieser Frage bewegt sich im Spannungsfeld zwischen dem Wünschbaren, dem technisch Machbaren und dem ökologisch und ökonomisch Tragbaren. Dabei sind die abzuwägenden Risiken und Nutzen keine harten oder objektiven Fakten, sondern entziehen sich einer objektiven Quantifizierung: Das Risikokalkül von Wahrscheinlichkeit und Tragweite mit Hilfe von Statistik und Modellierung ist zwar eine relativ gut operationalisierbare Form der Darstellung von Risiken. Da aber Risiken für unsere Wahrnehmung nur schwer zugänglich sind (vgl. Tversky/Kahneman 1974; Gigerenzer et al. 1999), ist eine geeignete Risikokommunikation grundlegend für die Sicherung der Akzeptanz von komplexen Produktions- und Lo-



gistiksystemen und das Vertrauens der Öffentlichkeit. Eine wichtige Voraussetzung für eine geeignete Risikokommunikation ist Transparenz in den Entscheidungen, wie sie durch eine strukturierte und dokumentierte multikriterielle Entscheidungsunterstützung sichergestellt werden kann. Bei der Kommunikation sind verschiedene Sichtweisen zu berücksichtigen (vgl. Hungerbühler/Ranke/Mettier 1999):

- Aus *technischer Sicht* geht es bei der Risikokommunikation vor allem um technische Sachverhalte bezüglich Anlagen, Prozessen und Produkten und die Leitfrage: Was kann passieren, mit welchen Ursachen und Folgen?
- Aus *gesellschaftlicher Sicht* ist bei der Risikokommunikation zu beachten, dass Bürger in demokratischen Gesellschaften jeweils eigene Vorstellungen bezüglich Nutzen und Risiko der Technik haben. Oft gibt es nur wenig Grundwissen über naturwissenschaftlich-technische Zusammenhänge. Aus Sicht einer sozialwissenschaftlichen Nutzen-Risiko-Analyse steht die Frage nach der Wahrnehmung und Einschätzung von Nutzen und Risiko durch bestimmte Individuen und Anspruchsgruppen im Vordergrund. Hier lautet die Leitfrage: Was darf passieren, und wie sind die Konsequenzen in der Gesellschaft verteilt?
- Die *psychologische Perspektive* bei der Beurteilung von Risiken betrachtet auf der Stufe des Individuums eher qualitative Faktoren wie Freiwilligkeit, Kontrollierbarkeit (vor allem die persönliche Kontrollmöglichkeit), Gewöhnung und Katastrophenpotenzial.
- Zusätzlich nimmt die *soziale Perspektive* bei der kollektiven Risikowahrnehmung Schutzziele, Wertvorstellungen und Argumentationslogiken von den unterschiedlichen gesellschaftlichen Anspruchsgruppen sowie Verteilungseffekte in den Blick.

Neben rein technik-bezogenen Kennzahlen sind folglich subjektive Wahrnehmungen für die Akzeptanz von Technologien entscheidend und idealerweise durch geeignete Kriterien bei der integrierten Technikbewertung zu berücksichtigen. In der praktischen Umsetzung sind schließlich verschiedene Ebenen zu unterscheiden:

- Auf der *Technikebene* zeigen Experten das technische Risikokalkül und die technischen Sicherungsmöglichkeiten auf.
- Auf der *Wahrnehmungsebene* eruieren natur- und sozialwissenschaftliche Experten konsensfähige Beurteilungsgrößen und Messkriterien für die möglichen Risiken.
- Auf der *Entscheidungsebene* soll über die Akzeptanz entschieden werden, indem die Vorstellungen der Anspruchsgruppen angemessen berücksichtigt werden.

## 9 Zusammenfassung

In diesem Beitrag wurde ein kurzer Überblick über die Herausforderungen der integrierten Technikbewertung gegeben. Aus methodischer Sicht stellt die integrierte Technikbewertung ein Entscheidungsproblem zur Auswahl einer Alternative anhand von mehreren zueinander im Zielkonflikt stehenden Kriterien dar. Das Prinzip der Nachhaltigkeit fordert, die zukünftige technische und industrielle Entwicklung so zu gestalten, dass ökonomische, ökologische und gesellschaftliche Zielsetzungen gleichrangig angestrebt werden. Weiterhin sind neben dem Normalbetrieb von Techniken in Produktions- und Logistiksystemen auftretende Risiken zu betrachten. Insgesamt müssen bei der Technikbewertung viele Aspekte berücksichtigt werden, was in dem ohnehin komplexen Bewertungsprozess zu einer zusätzlichen Schwierigkeit führt. Entscheidend für die öffentliche Akzeptanz von neuen Technologien und der industriellen Produktion ist hingegen eine angemessene Kommunikation. Die integrierte Technikbewertung unter Berücksichtigung mehrerer Kriterien ermöglicht es Transparenz und Nachvollziehbarkeit für alle Stakeholder zu schaffen. So wird dem Entscheidungsträger eine fundierte und strukturierte Basis zur Entscheidungsfindung geboten.

## Literatur

- Beck, U.: Risikogesellschaft. Auf dem Weg in eine andere Moderne, 23. Aufl., Frankfurt a. M. 2016.
- Brans, J.-P.; Smet, Y. de: PROMETHEE Methods, in: Greco, S.; Ehrgott, M.; Figueira, J.R. (Eds.): Multiple Criteria Decision Analysis. State of the Art Surveys, 2nd edn., New York 2016, pp. 187–219.
- Diwekar, U.; Small, M.J.: Process Analysis Approach to Industrial Ecology, in: Ayres, L.W., Ayres, L., Ayres, R.U. (Eds.): Handbook of Industrial Ecology, Cheltenham 2002, pp. 114–137.
- Eigner-Thiel, S. et al.: Assessment of Different Bioenergy Concepts in Terms of Sustainable Development, in: Ruppert, H.; Kappas, M.; Ibendorf, J. (Eds.): Sustainable Bioenergy Production. An Integrated Approach, Dordrecht/New York 2013, pp. 339–384.
- Figueira, J.R.; Mousseau, V.; Roy, B.: ELECTRE Methods, in: Greco, S.; Ehrgott, M.; Figueira, J.R. (Eds.): Multiple Criteria Decision Analysis. State of the Art Surveys, 2nd edn., New York 2016, pp. 187–219.
- French, S.; Geldermann, J.: The Varied Contexts of Environmental Decision Problems and Their Implications for Decision Support, in: Environmental Science and Policy, Vol. 8 (2005), pp. 378–391.
- Geldermann, J.: Mehrzielentscheidungen in der industriellen Produktion, Habilitationsschriftsschrift Karlsruher Institut für Technologie, Karlsruhe 2006.
- Geldermann, J.: Anlagen- und Energiewirtschaft. Kosten- und Investitionsschätzung sowie Technikbewertung von Industrieanlagen, München 2014.
- Geldermann, J. et al.: Proposal for an Integrated Approach for the Assessment of Cross-Media Aspects Relevant for the Determination of „Best Available Techniques“ Bat in the European Union, in: International Journal of Lifecycle Assessment, Vol. 4 (1999), pp. 94–106.
- Geldermann, J.; Lerche, N.: Leitfaden zur Anwendung von Methoden der multikriteriellen Entscheidungsunterstützung. Methode: PROMETHEE, Göttingen 2014.

- Gigerenzer, G. et al.: *Das Reich des Zufalls. Wissen zwischen Wahrscheinlichkeiten, Häufigkeiten und Unschärfen*, Heidelberg 1999.
- Greco, S.; Ehrgott, M.; Figueira, J.R. (Eds.): *Multiple Criteria Decision Analysis. State of the Art Surveys*, 2nd edn., New York 2016.
- Grunwald, A.: *Wissen für das Parlament. 20 Jahre Technikfolgenabschätzung am Deutschen Bundestag*, Berlin 2012.
- Hämäläinen, R.P.: Behavioural Issues in Environmental Modelling. The Missing Perspective, in: *Environmental Modelling and Software*, Vol. 73 (2015), pp. 244–253.
- Hungerbühler, K.; Ranke, J.; Mettier, T.: *Chemische Produkte und Prozesse. Grundkonzepte zum umweltorientierten Design*, Berlin/Heidelberg 1999.
- Jischa, M.F.: *Herausforderung Zukunft. Technischer Fortschritt und Globalisierung*, 2. Aufl., Berlin 2014.
- Pöyhönen, M.; Hämäläinen, R.P.: On the Convergence of Multiattribute Weighting Methods, in: *European Journal of Operational Research*, Vol. 129 (2001), pp. 569–585.
- Renn, O.: *Risiko. Über den gesellschaftlichen Umgang mit Unsicherheit*, München 2007.
- Stewart, T.J.; French, S.; Rios, J.: Integrating Multicriteria Decision Analysis and Scenario Planning. Review and Extension, in: *Omega*, Vol. 41 (2013), pp. 679–688.
- Tversky, A.; Kahneman, D.: Judgment under Uncertainty. Heuristics and Biases, in: *Science*, Vol. 185 (1974), pp. 1124–1131.

# DuEPublico

Duisburg-Essen Publications online

UNIVERSITÄT  
DUISBURG  
ESSEN

*Offen im Denken*

ub

universitäts  
bibliothek

Dieser Text wird via DuEPublico, dem Dokumenten- und Publikationsserver der Universität Duisburg-Essen, zur Verfügung gestellt. Die hier veröffentlichte Version der E-Publikation kann von einer eventuell ebenfalls veröffentlichten Verlagsversion abweichen.

**DOI:** 10.1515/9783110473803-059

**URN:** urn:nbn:de:hbz:465-20240126-142320-5

Geldermann, J. (2018). Integrierte Technikbewertung. In: H. Corsten, R. Gössinger & T. Spengler (Ed.), *Handbuch Produktions- und Logistikmanagement in Wertschöpfungsnetzwerken* (pp. 1191-1209). Berlin, Boston: De Gruyter Oldenbourg.  
<https://doi.org/10.1515/9783110473803-059>

© 2018 Walter de Gruyter GmbH, Berlin/Boston. Alle Rechte vorbehalten.