

# Nachhaltige industrielle Wertschöpfungsnetze

Günther Seliger, TU Berlin,  
Institut für Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb

## Zusammenfassung

Nachhaltige industrielle Wertschöpfungsnetze stellen einen grundlegenden produktionstechnischen Forschungsansatz dar, die Dynamik des globalen Wettbewerbs zu nutzen, um die rational gebotene Nachhaltigkeit in ökologischer, ökonomischer und sozialer Dimension über technische Innovationsprozesse zu verfolgen. Wertschöpfende Unternehmen konkurrieren vorrangig in den oft gesättigten Märkten der Triade mit weniger als einer Milliarde Menschen. Die Märkte vieler Schwellenländer mit ihren weit über fünf Milliarden potenziellen Kunden rücken in den Blickpunkt. Dabei wird immer klarer, dass die heute vorherrschend Produkte und Prozesse prägenden Technologien mit ihrer bescheidenen Ressourceneffizienz kaum ausreichen, den Wohlstandsbedarf der immer noch wachsenden Weltbevölkerung zu erfüllen. Der Beitrag beschreibt die aktuellen Herausforderungen der Nachhaltigkeit und Ansätze, wie sie in der produktionstechnischen Forschung angenommen werden können.

## 1 Herausforderungen

### 1.1 Der Begriff der nachhaltigen Entwicklung

Der Begriff der nachhaltigen Entwicklung im heutigen Verständnis leitet sich ab aus dem „Brundtland-Bericht“ des Jahres 1987, in dem es heißt:

*„Sustainable development is development that meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs“ [WCE-87].*

Die auf Vorschlag der Brundtland-Kommission abgehaltene UN-Konferenz für Umwelt und Entwicklung in Rio de Janeiro im Jahr 1992 war der Auftakt zur Schaffung eines globalen Bewusstseins sowie einer globalen Plattform für drängende Herausforderungen der Menschheit. Dazu zählen die Weltbevölkerungskonferenz 1994 in Kairo, der Weltsozialgipfel 1995 in Kopenhagen, die Gründung der UN-Kommission für Nachhaltige Entwicklung (CSD), die Klimakonferenz 1997 in Kyoto, die United Nations Millenium Declaration und die Millenium Goals aus dem Jahr 2000 und der zweite Weltgipfel für Nachhaltige Entwicklung in Johannesburg im Jahr 2002. Auch auf nationaler Ebene wurde die Bedeutung der nachhaltigen Entwicklung erkannt. Die Enquete-Kommission des Deutschen Bundestags propagierte im Jahre 1998 das „Drei Säulen Modell der Nachhaltigkeit“:

*„Nachhaltigkeit ist die Konzeption einer dauerhaft zukunftsfähigen Entwicklung der ökonomischen, ökologischen und sozialen Dimension menschlicher Existenz. Diese drei Säulen der Nachhaltigkeit stehen miteinander in Wechselwirkung und bedürfen langfristig einer ausgewogenen Koordination“ [ENQ-98].*

Die zentralen Ziele nachhaltiger Entwicklung sind demnach zum einen die Zukunftsgerechtigkeit oder Generationengerechtigkeit, die gleiche Chancen für zukünftige Generationen fordert, zum anderen die Verantwortung für heute lebende Menschen und der weltweite Zugang zur Nutzung von natürlichen Ressourcen, die Möglichkeit zum Aufbau von Wohlstand durch Wertschöpfung bei weltweit verteilten Rechten und Pflichten sowie Einfluss- und Wahlmöglichkeiten.

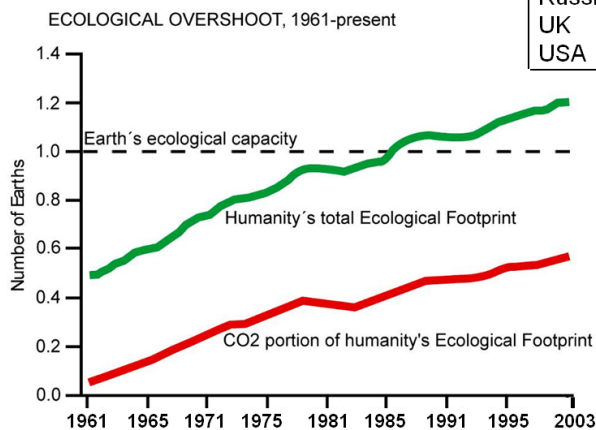
### 1.2 Ökologie

Zunehmend erkennt die Menschheit, wie sie von den natürlichen regenerierbaren und nicht erneuerbaren Ressourcen des Globus abhängt. Anfang der 70er Jahre erregte der Bericht des Club of

Rome „Die Grenzen des Wachstums“ [Mea-72] international Aufsehen, Diskussionen und erhöhte das globale Bewusstsein für Fragen der Begrenztheit, Effektivität und Effizienz von Ressourcen. Heute sind düstere Szenarien, wie ökologischer Kollaps und wirtschaftlicher Niedergang bei fortschreitendem Bevölkerungswachstum, Ressourcenausbeutung und Umweltverschmutzung in ihrer Fristigkeit zwar noch umstritten. Die dramatischen Auswirkungen exzessiven Ressourcenverbrauchs auf unsere Lebensgrundlagen sind aber allgemein akzeptiert und führen zu Umdenkprozessen. Die konkreten Handlungen der globalisierten Menschheit im Umgang mit diesen Herausforderungen sind heute noch unzureichend.

- 11.2 billion ha biologically productive area, about one quarter of earth's surface; consisting of 2.3 billion ha of water, 8.9 billion ha of land
- 11.2 billion ha divided by 6.3 billion people gives average amount of biocapacity on planet per person: 1.8 global ha/cap

	Population [mio.]	Ecological Footprint [global ha/cap]	Biological Capacity [global ha/cap]	Ecological Deficit (-) or Reserve (+) [global ha/cap]
<b>World</b>	<b>6301.5</b>	<b>2.2</b>	<b>1.8</b>	<b>-0.4</b>
Brazil	178.5	2.1	9.9	7.8
China	1311.7	1.6	0.8	-0.9
Germany	82.5	4.5	1.7	-2.8
India	1065.5	0.8	0.4	-0.4
Japan	127.7	4.4	0.7	-3.6
Russian Fed.	144.9	4.4	6.9	2.5
UK	59.5	5.6	1.6	-4.0
USA	294.0	9.6	4.7	-4.8



Source: Living Planet Report 2006, WWF–World Wide Fund For Nature, Gland, Switzerland, 2006. Mathias Wackernagel: Ecological Footprint Accounting. In: Keiner, Mario (Ed.): The Future of Sustainability, Springer, 2006.

ABBILDUNG 1: Der ökologische Fußabdruck der Menschheit

Der Verbrauch an regenerativen Ressourcen kann mit dem ökologischen Fußabdruck gemessen werden. Er ist ein Maß für die Fläche Erde, die erforderlich ist, um den derzeitigen Lebensstil der Menschen dauerhaft zu ermöglichen. Der Verbrauch an natürlichen Ressourcen übersteigt demnach die regenerativen Kapazitäten der Erde um etwa 25% (Abbildung 1). Wenn diese Entwicklung fortläuft, würde man im Jahr 2050 zwei Erden brauchen, um den natürlichen Ressourcenbedarf zu decken [WWF-06]. Nach Living Planet Index ist der Bestand an Wildtierarten in den letzten 30 Jahren um 30% gesunken, der Bestand der tropischen Tiere ist bereits um 55% gesunken [WWF-06]. Stellt man den ökologischen Fußabdruck eines Landes seinem Human Development Index [UNDP-07], einem Maß mit den wesentlichen Elementen Kaufkraft, Bildungsgrad und Lebenserwartung, gegenüber, so lässt sich erkennen, dass ein weltweiter Anstieg des Wohlstandes auf Basis der derzeitigen Technologien mit ihrem zu hohen Ressourcenverbrauch fatal wäre (Abbildung 2).

Source: Living Planet Report 2006, WWF–World Wide Fund For Nature, Gland, Switzerland, 2006.

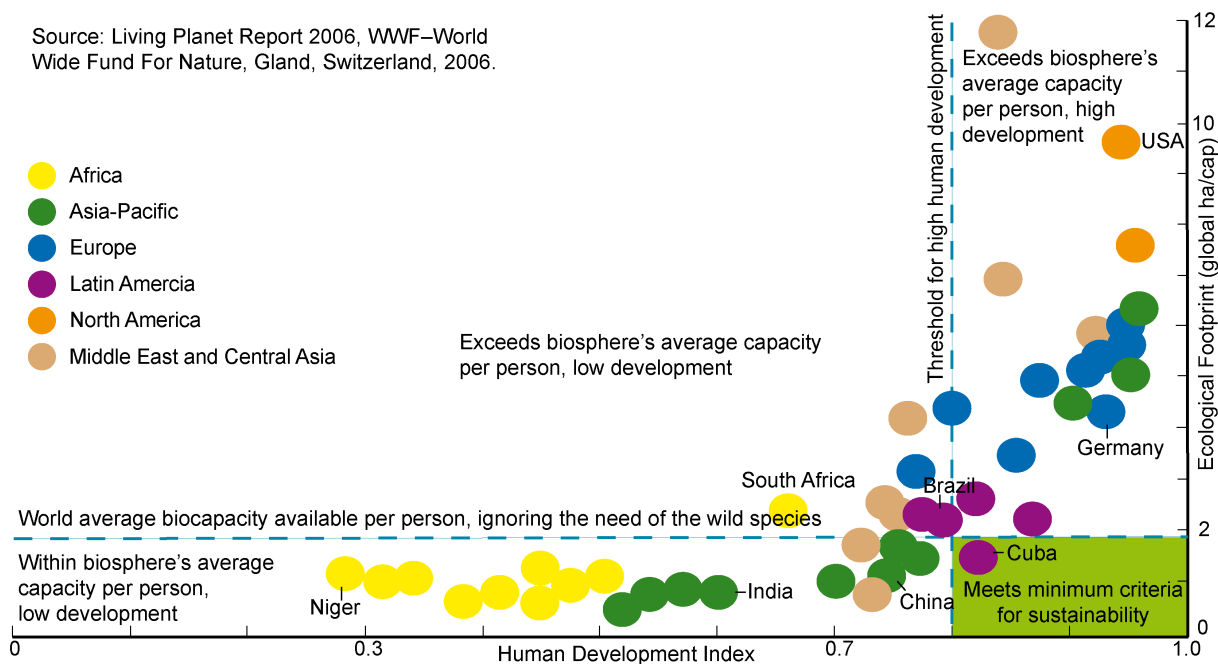


ABBILDUNG 2: Korrelation des ökologischen Fußabdruck mit dem Human Development Index

Auch wenn man die Reserven und den Verbrauch nicht-erneuerbarer Rohstoffe betrachtet, zeigen sich die begrenzte zukünftige Verfügbarkeit und auch das Ungleichgewicht in Reserven und Verbrauch zwischen Industrie- und Entwicklungsländern. Abbildung 3 macht dazu Angaben bezogen auf metallische Rohstoffe [WUP-05]. Bei aller Unsicherheit über exakte Werte steht der grundlegende Sachverhalt außer Frage. In Zukunft werden wir unsere Produktionstechnologien auf Verwendung und Verwertung bereits genutzter Ressourcen einstellen müssen.

Rohstoff	Einheit		Industrieländer			Entwicklungsländer Latein			Nicht zugeordnete Ressourcen	
			Gesamt	USA	Japan	Eu-15	Gesamt	Afrika		-amerika
Bauxit	Reserven	Mio. t	4.420				18.870			4.300
		% von Welt gesamt	19%				63%			18,5%
Aluminium	Verbrauch	Mio. t		5	2	5		0	1	3
		% von Welt gesamt		23%	8%	20%		2%	4%	15%
		kg pro Kopf		19,1	15,8	12,6		5	1,6	2,7
Eisenerz	Reserven	Mio. t	30.000				106			11.000
		% von Welt gesamt	21%				63%			7,5%
Stahl	Verbrauch	Mio. t		103	73	142		15	40	107
		% von Welt gesamt		13%	10%	19%		2%	5%	22%
		kg pro Kopf		362	576	376		19	77	134
Kupfer	Reserven	Mio. t	66				348			60
		% von Welt gesamt	14%				73,5%			12,7%
	Verbrauch	Mio. t		2	1	2		0	4	1
		% von Welt gesamt		12%	9%	12%		3%	26%	9%
		kg pro Kopf		6,3	11,2	4,9		0,5	7,7	1,1
Blei	Reserven	Mio. t	26				22			19
		% von Welt gesamt	38,5%				32,9%			28,6%
	Verbrauch	Mio. t		2	0	2		0	0	1
		% von Welt gesamt		26%	4%	27%		2%	6%	10%
		kg pro Kopf		5,94	2,23	4,62		0,16	0,78	0,51

Quelle: Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie: Fair Future–Ein Report des Wuppertal Instituts, C.H.Beck, München, 2005. Reserven 2004, Verbrauch 2001

ABBILDUNG 3: Reserven und Verbrauch von Aluminium, Stahl, Kupfer und Blei

### 1.3 Ökonomie

Bedingt durch die Endlichkeit und begrenzte Förderbarkeit natürlicher Ressourcen wie Aluminium, Blei und Kupfer ist bereits ein drastischer Preisanstieg zu beobachten (Abbildung 4). Wir alle haben den Preisanstieg beim Benzin beobachtet. Die Einschätzungen der noch vorhandenen Erdölreserven liegen, je nach Verfasser, zwischen etwa 1.000 Milliarden Barrel und 3.000 Milliarden Barrel. Auch der genaue Termin des Peak-Oil, des Zeitpunktes, ab dem die Ölfördermenge konstant bleibt bzw. sich verringert, liegt je nach Schätzung zwischen heute und 2020. Es ist vorauszusehen, dass das Schwinden der Ölvorkommen drastische Preiserhöhungen mit sich bringt, die großen Einfluss auf die Weltwirtschaft ausüben werden [Sim-06]. Wir tun gut daran, die unseren Lebensstil prägenden Technologien dieser absehbaren Ressourcenknappheit rasch anzupassen.

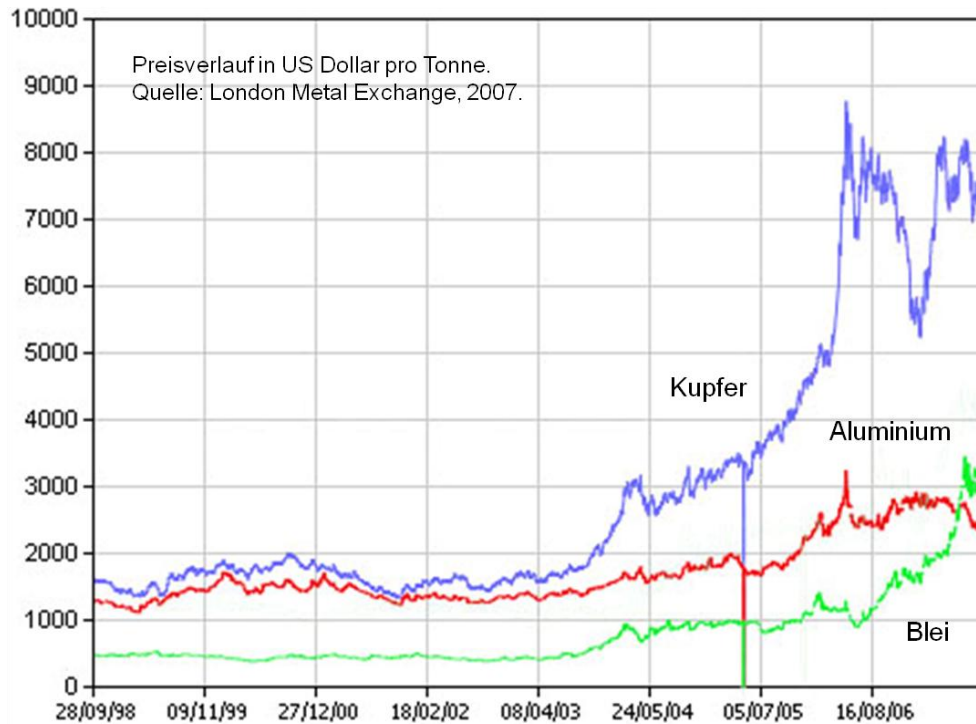


ABBILDUNG 4: Rohstoffpreisverlauf von Blei, Kupfer und Aluminium

Die globale Weltwirtschaft wächst derzeit stark an. Technischer Fortschritt und die Liberalisierung der Weltmärkte führen Schätzungen zufolge in den nächsten 25 Jahren zu einer Verdoppelung des Weltbruttosozialproduktes auf mehr als 60 Billionen Dollar [BMU-06]. Besondere Aufmerksamkeit finden die BRIC-Staaten Brasilien, Russland, Indien und China, deren Aktienmärkte Kursteigerungsraten von 100-300% in den letzten fünf Jahren verzeichnet haben. Betrachtet man das Bruttoinlandsprodukt, so wird prognostiziert, dass diese Länder die G8 Staaten außer den USA in den nächsten 30 Jahren überholen (Abbildung 5) [GS-03]. Die Auswirkungen dieser Entwicklung zeigen sich auch am rapiden Anstieg des weltweiten Transportaufkommens (Abbildung 6). Es stellt sich die Frage, mit welchen Produktionstechnologien diese Wachstumsraten im ökologisch gebotenen Rahmen bewältigt werden sollen.

- Jahr, in dem das Bruttoinlandsprodukt (BIP) der BRIC-Staaten das BIP der Staaten Frankreich, Deutschland, Italien, Japan, Großbritannien und USA erreicht.

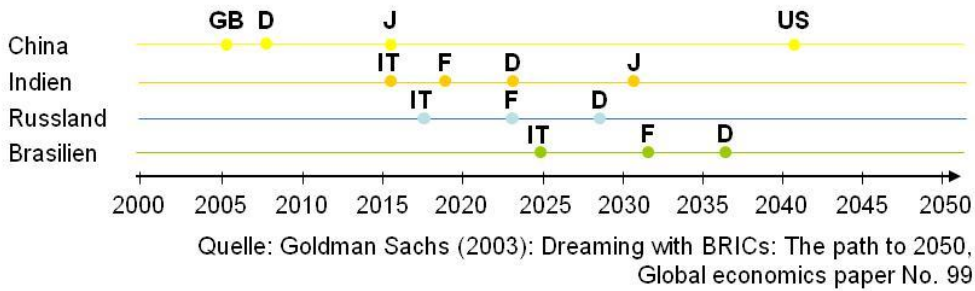


ABBILDUNG 5: Wirtschaftliche Entwicklung der BRIC-Staaten (Prognose bis 2050)

Jeder Ort der Erde ist heute physisch in weniger als einem Tag und kommunikativ über das Internet in Sekunden erreichbar. Demnach hat im Prinzip jeder in unserer globalen Gesellschaft Zugang zu jedem. Im Wettbewerb der Industrieländer fallen die Grenzen von Ort, Zeit und Kommunikation, die früher den Erfolg in verdeckten Marktnischen [Por-99] erleichterten. Neue Produkte können bei zunehmender Transparenz des Wissens nur für immer kürzere Zeit einen Vorteil gegenüber der Konkurrenz bieten. Man konzentriert sich auf Kernkompetenzen, um im Innovationswettbewerb mit immer wieder neuen Lösungsansätzen überzeugen zu können. Invention in der Entwicklung ist dazu so notwendig wie Diffusion in die Anwendung. Aber dafür darf nicht mehr investiert werden als auch bei verkürzten Marktzyklen der Produkte durch Absatzerfolge amortisiert werden kann, sonst tappt man in die Beschleunigungsfalle [Bra-94] [Bac-98]. Es kann sich auch ein Zielkonflikt zwischen wettbewerbsorientierter Innovationsgeschwindigkeit und Ressourceneffizienz ergeben, der durch angemessene Technologieentwicklung aufzulösen ist.

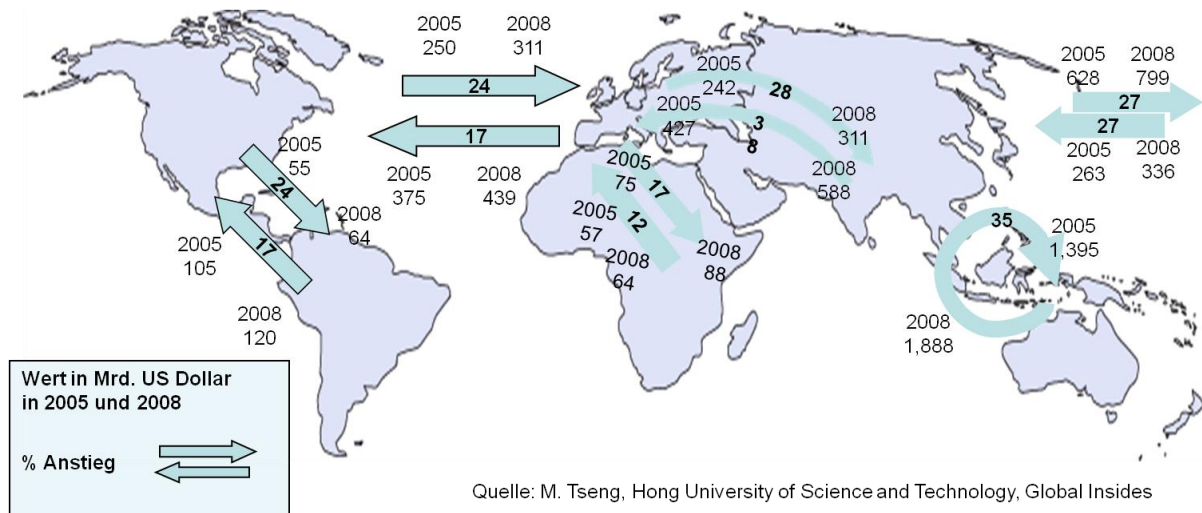


ABBILDUNG 6: Weltweites Transportaufkommen 2005 und Schätzung für 2008

### 1.4 Gesellschaft

Eine weitere Herausforderung stellt die gerechte Verteilung und der Zugang zu Ressourcen, Wohlstand, Rechten, Pflichten, Einfluss- und Wahlmöglichkeiten dar. Die Hälfte der Weltbevölkerung muss heute mit weniger als zwei Dollar am Tag, ohne Telefon und ohne elektrischen Strom auskommen. Ein Fünftel der Menschheit verfügt über mehr als vier Fünftel des globalen Wohlstands während über 200 Millionen Kinder hungern. Auch in industrialisierten Ländern der OECD sind z. B. bei den Löhnen für Frauen Ungleichheiten zu finden. Der Zugang zur Bildung korreliert in vielen

Ländern mit der sozialen Herkunft [UNDESA-06]. Der Verlauf des akkumulierten Vermögens einer Gesellschaft vom Ärmsten zum Reichsten wird durch die Lorenzkurve beschrieben. Der Equity Faktor bildet ein Maß für die Verteilung des Vermögens in einer Gesellschaft (Abbildung 7).

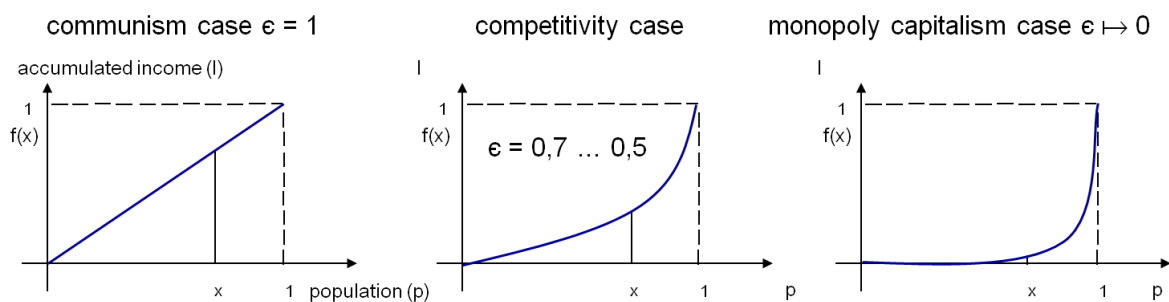
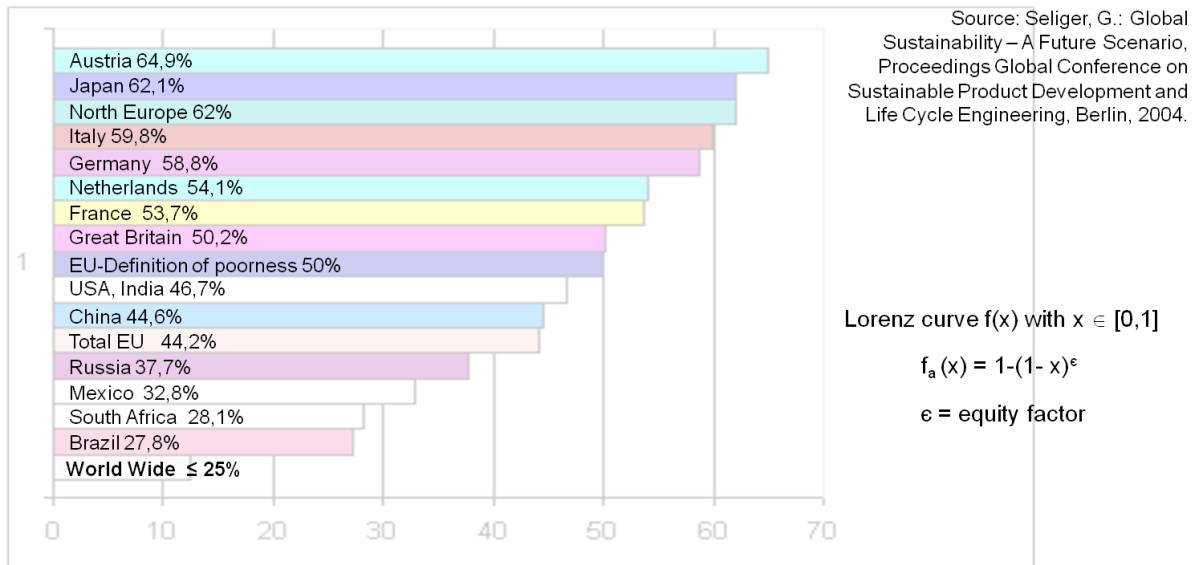


ABBILDUNG 7: Lorenzkurven und Equity Faktoren

Die Vereinten Nationen prognostizieren 9,5 Milliarden Menschen bis 2050. Die industrialisierte Welt in Europa, Nordamerika, Japan, Korea, Australien und wenigen weiteren Inseln des Wohlstandes umfasst weniger als 1 Milliarde Menschen. China mit 1,3 Milliarden Menschen und Indien mit 1,1 Milliarden Menschen aber auch andere Länder bemühen sich, zu dieser ersten Welt aufzuschließen. Wird die Lebenswelt dieser rasch aufholenden Nationen durch die gegenwärtig vorherrschenden Technologien der ersten Welt geprägt, so steigt der globale Ressourcenverbrauch über jedes ökologisch, ökonomisch und sozial verantwortbare Maß.

## 2 Verantwortung

„Handle so, dass Wirkungen deiner Handlungen verträglich sind mit der Permanenz echten menschlichen Lebens auf Erden“ so fordert der Philosoph Hans Jonas in Anlehnung an Kants „kategorischen Imperativ“ in seinem Werk „Das Prinzip Verantwortung, Versuch einer Ethik für die Technologische Zivilisation“ aus dem Jahr 1979 [JON-79]. Diese Forderung, Verantwortung zukunftsorientiert wahrzunehmen, kann man sicherlich auch im Ansatz der globalen Völkergemeinschaft zu „Sustainable Development“ erkennen, wie er auf der UN-Konferenz in Rio de Janeiro im Jahr 1992 zuerst formuliert wurde.

Aber eingebunden in die Zwänge marktwirtschaftlichen Wettbewerbs, den Kunden, Mitarbeitern, Anteilseignern und nicht zuletzt dem Gemeinwesen verpflichtet, ist es für eine unternehmerische Führungskraft alles andere als trivial festzulegen, wie diese Verantwortung wahrgenommen werden

kann. Immerhin ist da ja noch Adam Smiths These der „unsichtbaren Hand des Marktes“, dass nämlich das Gemeinwohl aus dem Wettbewerb einzelwirtschaftlicher Interessen heraus im höchsten Maße befördert werde. Und der Kollaps planwirtschaftlicher Systeme, den wir in den vergangenen Jahrzehnten erlebt haben, scheint diese These zumindest teilweise zu bestätigen. Die aktuellen Diskussionen über die Wiederbelebung bzw. Erneuerung der sozialen Marktwirtschaft, über Corporate Social Responsibility und die Berichterstattung über Nachhaltigkeitsindikatoren in den Unternehmen (Abbildung 8) zeigen an, dass es neben dem wirtschaftlichen Wettbewerb offenbar noch andere Triebkräfte für die Führung von Unternehmen und anderen gesellschaftlichen Institutionen gibt. Es entsteht ein Unbehagen über den Zwang zum kurzfristigen Erfolg im Wettbewerb einerseits und der Verantwortung für eine nachhaltige Lebenswelt andererseits. Es stellt sich die Frage, wie dieser Widerspruch durch nachhaltige Entwicklung von Technologie und Lebenswelt unter Nutzung der bestimmenden marktwirtschaftlichen Triebkräfte, der Phantasie, Kreativität und Gestaltungskompetenz verantwortlicher Weltbürger aufgelöst werden kann. Lehre und Forschung an Universitäten mit motivierten Studierenden, die ihr Berufsleben noch vor sich haben, bietet hier beachtliche Chancen.

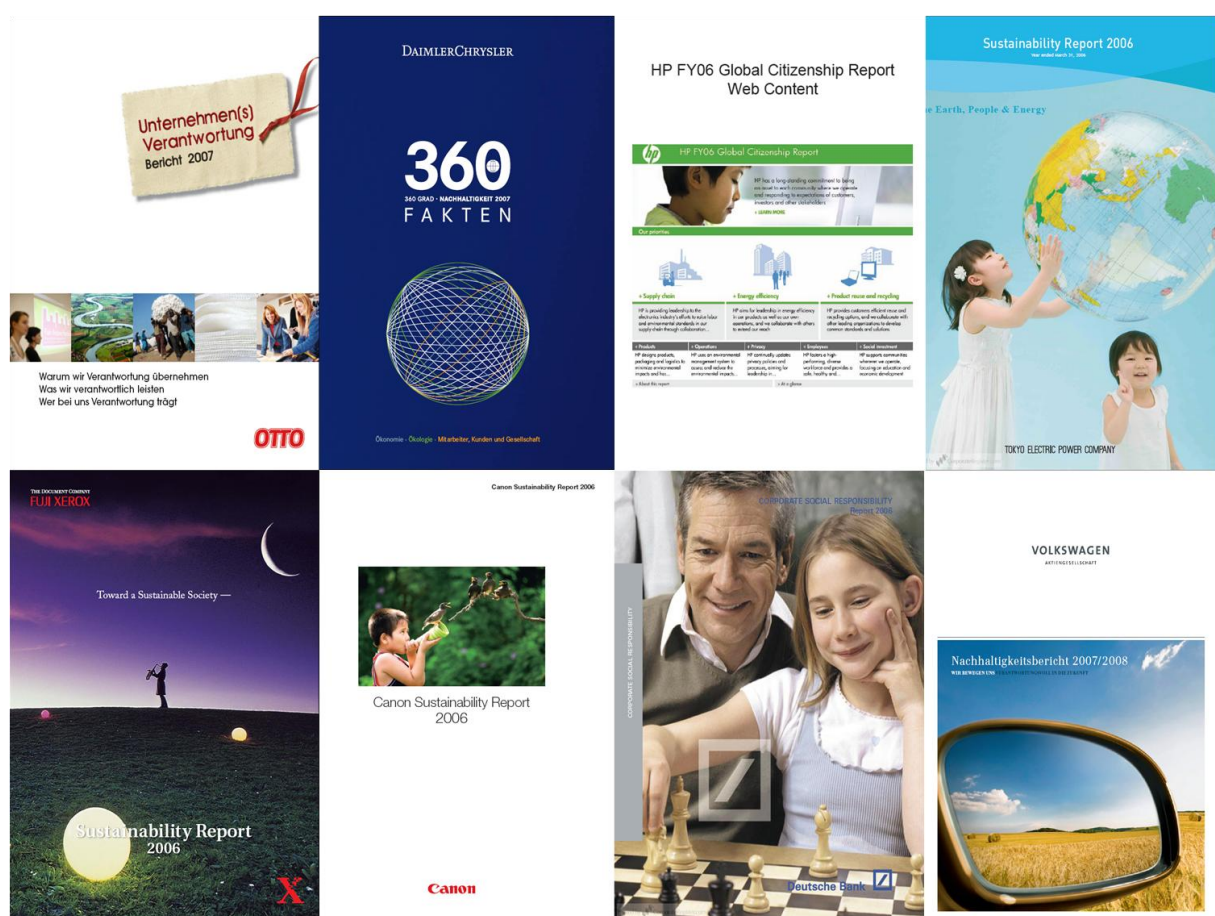


ABBILDUNG 8: Nachhaltigkeitsberichte von Unternehmen

### 3 Chancen

Wenn durch Bildung und Ausbildung die Fähigkeit der Menschen erhöht wird, ihre Primärbedürfnisse wie Essen, Kleiden, Wohnen und Mobilität aus eigener Kraft und Entscheidung unter Einhaltung von Nachhaltigkeitsstandards zu erfüllen, ergeben sich gute Chancen, die ungleiche globale Wohlstandsverteilung wesentlich abzuschwächen. Dabei fällt den entwickelten Nationen die Aufgabe zu, ihre wohlstandsbestimmende Technologie so umzugestalten, dass die Nutzenproduktivität der Ressourcen wesentlich erhöht wird. Materielle Wohlstand kann als der Nutzen verstanden werden,

den die Menschen aus den produzierten Artefakten ziehen können. Produktionstechnik im weitesten Sinn bestimmt das Verhältnis zwischen Nutzen und dem dazu erforderlichen Ressourceneinsatz. Hierzu bedarf es neuer Herstellungsprozesse und Produkte, erhöhter Nutzungsintensität der Artefakte und eines kreislaufwirtschaftlichen Lebenszyklusmanagement [Sel-07].

Bereits 1995 haben von Weizäcker und Lovins Wege zum doppelten Wohlstand bei halbiertem Naturverbrauch skizziert [Wei-97]. Es stehen uns alle Möglichkeiten zur Verfügung, den Ressourcenverbrauch in der ersten Welt ohne Einschränkung der Lebensqualität gewaltig zu senken, die eingefahrenen Bahnen auch unserer technologischen Denkgewohnheiten zu verlassen.

Dass mit Technologieentwicklung eine beachtliche Erhöhung der Ressourceneffizienz erreichbar ist, zeigen die nachfolgenden Beispiele. Der marktgewichtete Verbrauch von PKW aus deutscher Produktion konnte von 10,8 Liter im Jahr 1978 auf 6,9 Liter im Jahr 2003 bei gestiegenem Fahrzeuggewicht reduziert werden [VDA-04]. Der Wasserverbrauch einer durchschnittlichen Waschmaschine konnte zwischen 1970 bis 2004 von 200 auf 50 Liter gesenkt werden [Sta-07]. Gebäude werden bereits als „Nullenergiehäuser“ realisiert [RMI-07]. Die Betrachtung der Effizienz eines typischen Industripumpensystems, das gemessen am Brennstoffeinsatz einen bescheidenen Energieoutput von 9,5 % erzielt, illustriert eindrucksvoll weitere Energieeinsparungspotentiale (Abbildung 9).

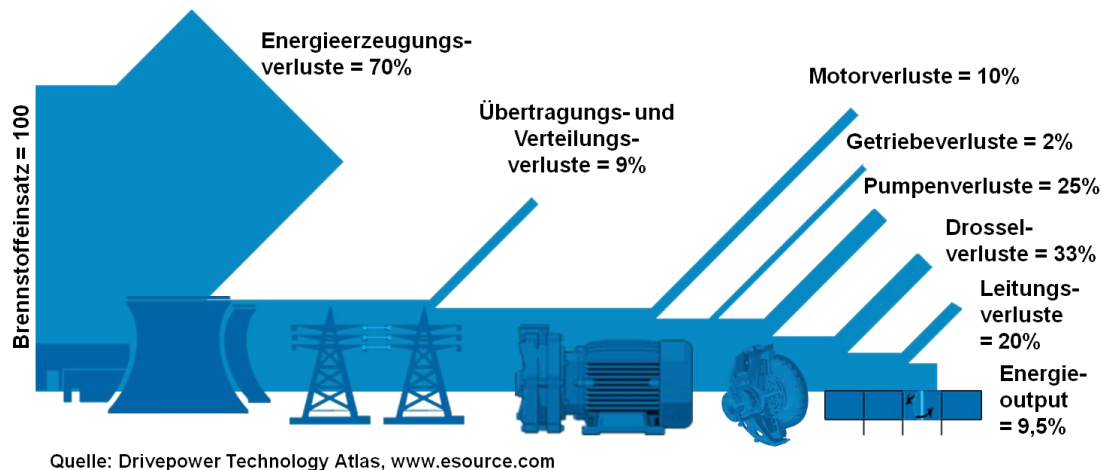


ABBILDUNG 9: Energieverluste eines industriellen Pumpensystems

Das ökonomische Paradigma des Produktverkaufs mit Profitgenerierung über Kostensenkung durch große Stückzahlen wird herausgefordert durch die Bereitstellung von Funktionalität am Ort und zur Zeit des Bedarfs in der geforderten Spezifikation. Moderne Informations- und Kommunikationstechnik (IKT) ermöglicht den Echtzeitzugriff auf Bedarfe und Verfügbarkeiten, um danach die Nutzenbereitstellung logistisch zu steuern. Die Einhaltung der Qualitätsanforderungen wird durch IKT überwacht und ermöglicht eine bedarfsgesteuerte Instandhaltung. Durch Modularisierung können die funktionstragenden Produkte kurzfristig nach Kundenwünschen konfiguriert werden. Die Leerkosten kaum genutzter Kapazität werden abgebaut bzw. durch deutlich niedrigere Mehrkosten für Logistik und IKT substituiert. Das ökonomische Geschäftsmodell des Nutzen- statt Produktverkaufs führt ökologisch zur Erhöhung der Nutzenproduktivität von Ressourcen und sozial zu wettbewerbsfähiger Beschäftigung im Servicebereich [Rei-02].

Wie auch in Entwicklungsländern durch unternehmerische Initiative in Verbindung mit Technologie der Wohlstand nachhaltig gesteigert werden kann, demonstriert uns der Friedensnobelpreisträger Muhammed Yunus mit seinem Mikrokreditprogramm in Bangladesch z. B. für Solar-Home-Systeme. Photovoltaische Solarkollektoren in Verbindung mit Batterien, Energiesparlampen und Fernsehgerät ersetzen Dieselgeneratoren und weniger effiziente elektrische Verbraucher. Sie fördern die Eigeninitiative, erleichtern Bildung über Telekommunikation [Keb-04]. Dies verdeutlicht welche



Entwicklungschancen sich auch für die Ärmsten der Armen ergeben, wenn die Kräfte menschlicher Initiative intelligent belebt werden. Ein weiteres Beispiel sind Minifabriken für den Amazonas, die den Bewohnern der Amazonasregion ermöglichen, Wertschöpfung zu betreiben und den Wohlstand zu steigern, ohne den Regenwald dabei zu zerstören [Str-07]. Mit relativ geringen finanziellen Mitteln der industrialisierten Welt lassen sich relativ große Schritte zur nachhaltigen Entwicklung der strukturschwachen Regionen finanzieren.

Es ergeben sich große Chancen, die globalen Herausforderungen nachhaltiger Entwicklung zu bewältigen, wenn über gemeinsame Prozesse in Forschung und Lehre, Wertschöpfung und Gütertausch den Menschen in aller Welt vermittelt wird, wie Wohlstand für alle über ressourceneffiziente Technologien erreicht werden kann.

## 4 Produktionstechnische Lösungsansätze

Produzierende Unternehmen werden mit einer steigenden Komplexität und einer wachsenden Anzahl an Produkten und Varianten konfrontiert. Um sich im globalen Wettbewerb erfolgreich zu behaupten, konzentrieren sich Unternehmen zunehmend auf ihre Kernkompetenzen, verteilen die Wertschöpfung auf eine Vielzahl unterschiedlicher Unternehmen und organisieren sich in Wertschöpfungsnetzen [Sel-97]. So ergeben sich neben der Verbesserung von unternehmensinternen Prozessen die größten Potentiale für Nachhaltigkeit in der Planung, Steuerung und Verbesserung der gesamten Prozesskette innerhalb des Wertschöpfungsnetzes (Abbildung 10).

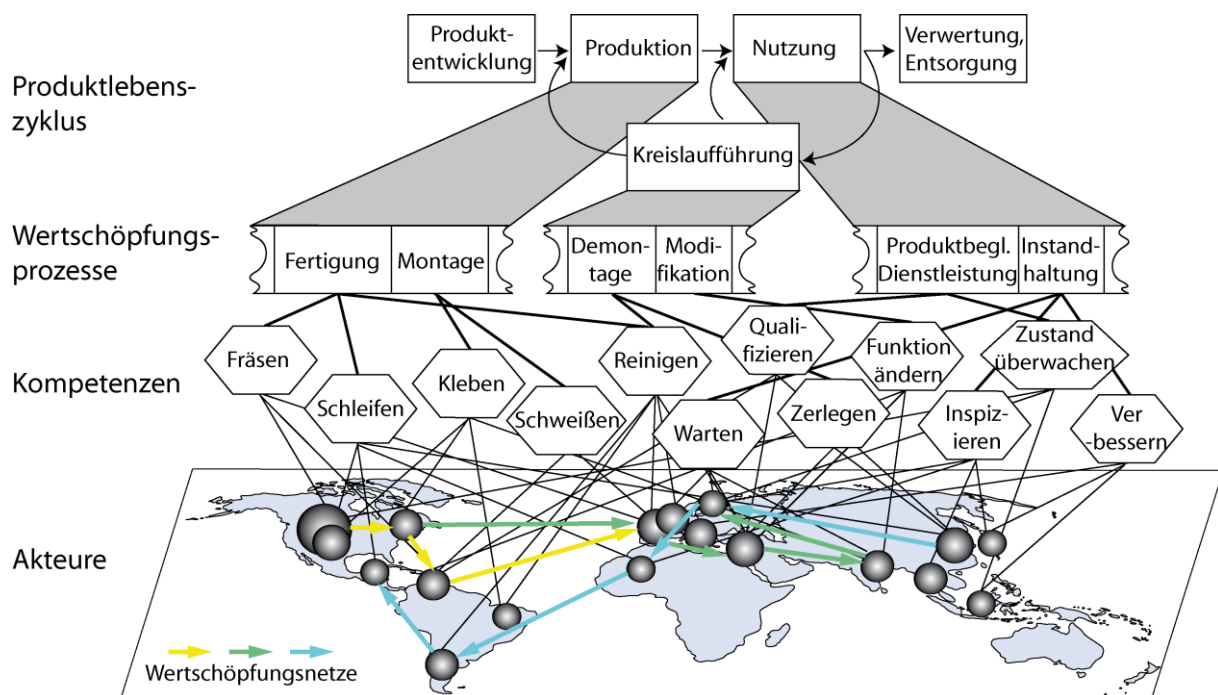


ABBILDUNG 10: Industrielles Wertschöpfungsnetz

Der Wille, Nachhaltigkeit in den Dimensionen Ökonomie, Ökologie und Gesellschaft zu erreichen, beschreibt eine Handlungssituation für die Industrie, die in ihrem verwobenen teilweise konfliktären, Zielsystem durch Komplexität, Dynamik, Intransparenz und Vernetzung gekennzeichnet ist. Diese Handlungssituation kann modellhaft als vernetzte Knoten in einem Koordinatensystem dargestellt werden, deren funktionale Abhängigkeiten und zeitlicher Verlauf nur teilweise bekannt sind (Abbildung 11). Wird in diesem Netz unternehmerisch agiert, so werden nur wenige Elemente bewusst bewegt. Die Effekte auf die übrigen Elemente des Netzes kann der Handelnde nur sehr begrenzt beeinflussen. Gleichwohl kann man die Nachhaltigkeit industrieller Wertschöpfungsnetze durch Technologie, Bildung und Zusammenarbeit im Wettbewerb befördern.

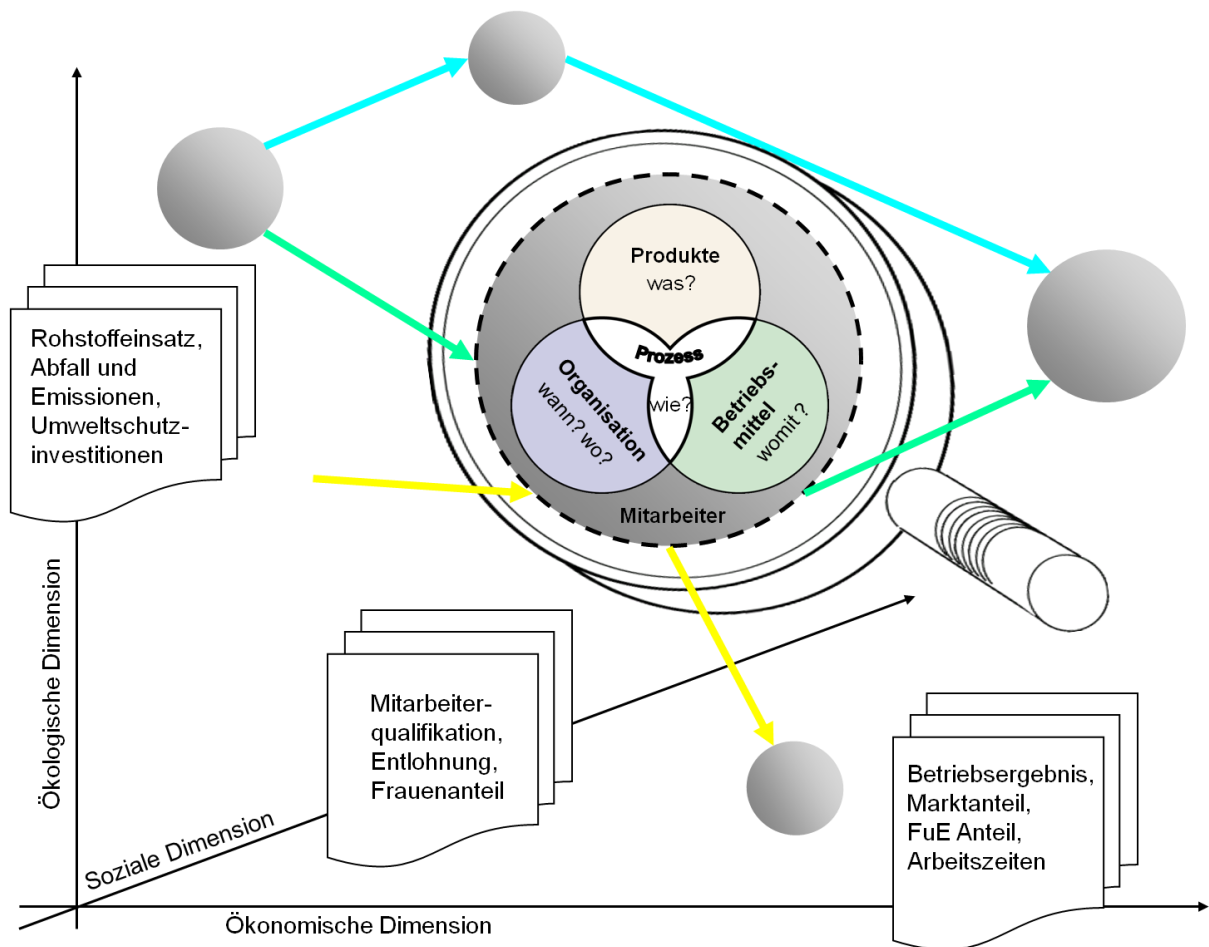


ABBILDUNG 11: Handlungssituation im Wertschöpfungsnetz

#### 4.1 Technologie

Ingenieurarbeit erschließt natürliche Potentiale für nützliche Anwendungen. Technik und technologischer Fortschritt hat die Menschheit zusammengeführt und geholfen, die trennenden Grenzen von Sprache, Ort und Zeit zu überwinden. Technik ist ein Werkzeug um unser Leben zu entfalten. Sie steht in inniger Wechselbeziehung zu Menschen und Gesellschaft, die sie hervorbringen, anwenden, mit ihr umgehen und davon betroffen sind. Materielle Wohlstand wird wesentlich durch Technik als Werkzeug der Wertschöpfung geprägt [Sel-01]. Im Sinne der Technikbewertung nach VDI 3780 beschränkt sich Technik nicht nur auf die Artefakte, sondern schließt die Bedingungen ihrer Entstehung sowie Art und Weise und Folgen ihrer Nutzung, auch im Hinblick auf Nachhaltigkeit, ein [VDI-3780].

Aus produktionstechnischer Sicht kann ein Beitrag zu nachhaltigen Wertschöpfungsnetzen geleistet werden, indem zukunftsfähige Technologien in den drei Dimensionen ökonomisch, ökologisch und sozial bewertet, entwickelt und angewendet werden [Fin-07]. Wie in Abbildung 12 dargestellt, verschiebt nützlich angewendete Technologie vernetzte Elemente eines Wertschöpfungsnetzes in positive Koordinatenrichtung. Zum einen kann Informations- und Kommunikationstechnologie als machtvolles Werkzeug zur Modellierung, Optimierung, Planung und Steuerung dienen. Zum anderen können neue Technologien Prozesse und Produkte verbessern und somit einen Beitrag zu einer nachhaltigen Entwicklung leisten. Technologie erzeugt Handlungsspielräume, die als Pfad oder als ein Satz von Pfaden verstanden werden können. Elemente des Netzes können sich entlang dieser Pfade bewegen oder bewegt werden und so neue Zustände einnehmen und sich auch auf andere Elemente auswirken. Wie in Abbildung 12 dargestellt ist, kann die Technologie je nach Anwendung sowohl

negativ als auch positiv wirken. Wir wollen mit diesem Modell eine Orientierung zur Nachhaltigkeit in unserer Technologieentwicklung gewinnen.

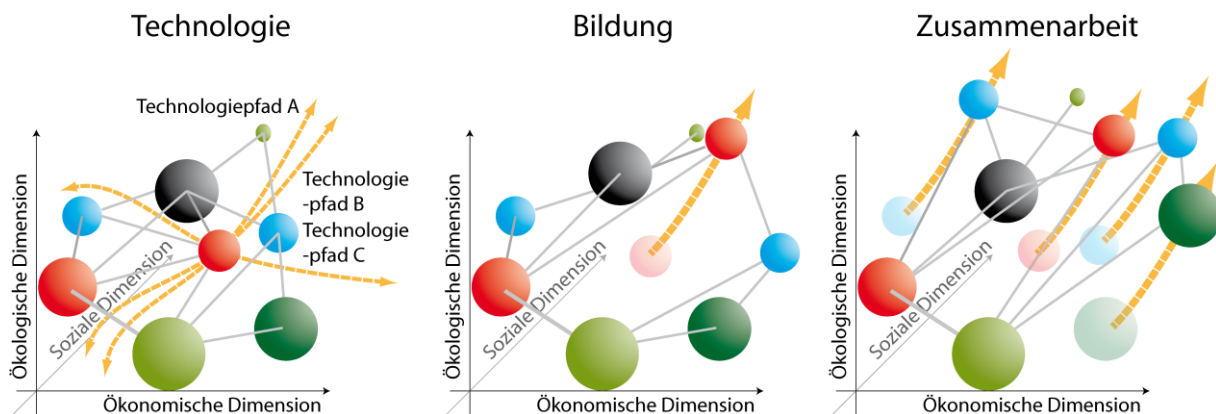


ABBILDUNG 12: Handlungsfelder nachhaltiger industrieller Wertschöpfungsnetze

## 4.2 Bildung

Nachhaltige Entwicklung kann nur gelingen, wenn mit Phantasie und Kreativität die Zukunft gestaltet wird. Der Bildung kommt dabei eine Schlüsselrolle zu. Die wichtigste Quelle für Ideen und daraus resultierende Innovationen sind gut ausgebildete Menschen. Aus diesen Überlegungen heraus beschloss die Vollversammlung der Vereinten Nationen auf Empfehlung des Weltgipfels für nachhaltige Entwicklung in Johannesburg, für die Jahre 2005 bis 2014 die Weltdekade „Bildung für nachhaltige Entwicklung“. Ihr Ziel ist es, durch Bildungsmaßnahmen zur Umsetzung der in Rio de Janeiro beschlossenen und in Johannesburg bekräftigten Agenda 21 [UN-92] beizutragen und die Prinzipien nachhaltiger Entwicklung weltweit in den nationalen Bildungssystemen zu verankern. Eine Bildung für nachhaltige Entwicklung stärkt und entwickelt die Möglichkeiten von einzelnen Personen, Gruppen, Gemeinschaften, Organisationen und Ländern, Einschätzungen und Entscheidungen zu Gunsten einer nachhaltigen Entwicklung zu treffen. Ein wichtiges Grundelement dieser Strategie ist der Erfahrungsaustausch zwischen Wissenschaftlern, Praktikern und Lernenden, um zu einem erhöhten Maß an Bewusstsein und Wissen in Bezug auf nachhaltige Entwicklung zu kommen. Lehrende können so effektiver agieren und Beispiel gebend wirken [WKE-05].

Innovation und Wissenswandel, Zusammenarbeit und Wettbewerb, regionale Kompetenzbildung und internationale Vernetzung stellen neue Herausforderungen an das Studium der Ingenieurwissenschaften. Die Grenzen zwischen Maschinenbau, Elektrotechnik, Informatik, Natur-, Wirtschafts- und Sozialwissenschaften sind zu überwinden, ohne dabei die disziplinäre Basisqualifikation zu verlieren. Die Fähigkeit zu Dokumentation und Präsentation, Kommunikation und Teambildung kann durch projektorientierte Lehrveranstaltungen auch mit außeruniversitären Praxispartnern besser herangebildet werden als im traditionellen Vorlesungsbetrieb [GET-07] [GPD-07]. Ingenieurarbeit ist auf Lösung gerichtet, auf Lösung von Aufgaben nach Maßgabe dafür verfügbarer Ressourcen. Analyse, Modellierung, Experiment und Konstruktion prägen den Lösungsweg. Analyse hilft, Aufgaben und Lösungswege einzuordnen und im Umfeld beeinflussender Wissensgebiete zu verorten. Modellierung abstrahiert auf das wesentliche und bestimmt die Wechselwirkungen der wesentlichen Einflussparameter im funktionierenden Prozess. Modellierung erweitert die Vorstellungskraft, hilft mehr Lösungen schneller zu analysieren. Die Unsicherheit über das für die Modellierung angenommene Verhalten künstlicher Systeme kann durch Experimente, Versuche als Fragen an die Natur über ihr Verhalten unter definierten Bedingungen, vermindert werden. Schließlich entstehen im Konstruktionsprozess die verbesserten oder neuen Systeme zur Erfüllung nützlicher Funktionen. Bildung, die Verständnis für Zusammenhänge und

Gestaltungskompetenz schafft, ermöglicht den Akteuren sich so auf den Pfaden entlang zu bewegen, dass die beeinflussbaren Elemente einen „nachhaltigeren Zustand“ einnehmen (Abbildung 12).

### **4.3 Zusammenarbeit**

Einzelne Personen und Unternehmen können große Beiträge zur Nachhaltigkeit leisten, aber die Herausforderungen sind zu komplex, selbst für große Unternehmen, sie allein zu bewältigen. Technologie und wissenschaftliche Erkenntnis braucht Akteure, die sie kooperativ sinnvoll nutzen. Eine dynamische Arbeitsteilung in Balance zwischen Zusammenarbeit und Wettbewerb entwickelt sich zwischen Unternehmen und Institutionen mit unterschiedlichen Kernkompetenzen, wenn sie als Partner im Konsortium gemeinsam komplexe systemische Aufgaben zu lösen versuchen. Sie müssen dann ihre komplementären Kompetenzen intelligent verknüpfen. Unternehmen und Institutionen werden Partner in Netzen der Wertschöpfung mit dem Ziel, die Gesamtleistung des Netzes und nicht nur die eigene Leistung zu steigern. Sie werden Partner in nachhaltigen Wertschöpfungsnetzen, wenn sich die globalen Herausforderungen nachhaltiger Lebensweise in Nachfrage und Angebot innovativer Prozesse und Produkte konkretisieren. Der Umgang mit Wissen und intellektuellem Kapital spielt hierbei eine Schlüsselrolle. Zusammenarbeit ermöglicht es, nicht nur an einem oder einigen wenigen Knoten zu ziehen, sondern in Zusammenarbeit gemeinsam mehrere Pfade entlang das ganze System u. a. auch durch Ausnutzung von Wechselwirkungen und Synergieeffekten in einen „nachhaltigeren Zustand“ zu bewegen (Abbildung 12).

### **4.4 Methoden und Werkzeuge**

Wenn heute vier Fünftel der Menschheit über weniger als ein Fünftel des globalen Wohlstands verfügen, dann gibt es sicherlich Nachfrage- und Angebotspotenziale in ungesättigten globalen Märkten. Wie bei dem dominierenden Innovationswettbewerb in den häufig gesättigten globalen Märkten der Industrieländer auch diese Potenziale erschlossen werden können. Dafür gilt es globale Szenarien zu entwickeln, die sich dann in handwerklichen und industriellen Wertschöpfungsnetzen realisieren lassen. Nicht mehr die Arbeit ist der knappe Faktor wie in den vergangenen 200 Jahren industrialisierter Produktion, sondern die natürlichen Ressourcen. Mehr Nutzen mit weniger Ressourcen wird zum produktionstechnischen Paradigma.

Dieser Paradigmenwechsel von der vorrangig produktivitätsorientierten Planung und Steuerung von Wertschöpfungsnetzen hin zu einer ressourcenbewussten Prozessgestaltung erfordert eine Anpassung oder Neugestaltung von Planungs- und Betriebsführungsmethoden. Es müssen Methoden und Werkzeuge entwickelt werden, die das Zusammenwirken von Mensch und Maschine, Fertigungsprozesse und -betriebsmittel, prozessorientierte Produktpassung, Organisation und Überwachung, Inferenzmechanismen für Prozessplanung und Kontrolle nach Kriterien der Nachhaltigkeit gestalten helfen.

Das Potential moderner IKT erlaubt eine verbesserte Kommunikation innerhalb einer Wertschöpfungsnetzes. Systemische Planungs- und Betriebsführungsmethoden sollten eingesetzt werden, die das gesamte Netz und nicht nur Teilsysteme verbessern. Paretooptimale Konstellationen sind zu modellieren und in der multikriteriellen Optimierung auf Nachhaltigkeitsziele zu verfolgen [Gro-06] [Moe-03]. Dies erfordert die Interoperabilität von Akteuren [Rab-06] und erlaubt eine verbesserte Strategieplanung durch Rundumsicht. Dabei ergibt sich eine hohe Dynamik in der Teilhabe unterschiedlicher Partner im Wertschöpfungsnetz, die durch die Dichotomie von Zusammenarbeit und Wettbewerb bestimmt wird.

Durch eine Kreislaufwirtschaft kann die Nutzenproduktivität von Ressourcen gesteigert werden, indem aufwendige Herstellungsprozesse durch ressourceneffiziente Anpassungsprozesse zwischen unterschiedlichen Nutzungsphasen von Produkten und Komponenten substituiert werden. Die vielfältigen Anpassungsprozesse sollen durch geeignete Technologien und Betriebsmittel verbessert werden. Mobile und modulare Produktionsanlagen [Uhl-04] für die flexible dezentrale Produktion können mit lokal verfügbaren Ressourcen lokal existierende Bedarfe befriedigen. Neue

ressourcensparende antriebstechnische und kinematische Konzepte können im Sinne humanzentrierter Automatisierung [Kru-05] entwickelt und genutzt werden.

Innovative Werkzeuge des Managements zur Diffusion von Kompetenzen für eine nachhaltige Produktion erhöhen die Chance zur Durchsetzung nachhaltiger Wertschöpfungsketten im industriellen Wettbewerb. Denkgewohnheiten allein produktivitätsorientierter Planung und Betriebsführung sind durch authentisch konkrete Vermittlung wettbewerbsfähiger Technologien und Geschäftsprozesse im Sinne der Nachhaltigkeit zu durchbrechen. Dazu können moderne Werkzeuge des Kompetenz- und Wissensmanagements sowie der Spieltheorie genutzt werden. So gibt es in der volkswirtschaftlichen Spieltheorie Ansätze, wie koordiniertes Handeln für Mehrgenerationengerechtigkeit begünstigt werden kann [Kue-05]. Im Bereich der Unternehmensführung werden Ansätze untersucht, in Form von Wissensbilanzen das Sozial-, Struktur und Humankapital von Unternehmungen zu bewerten und nachhaltig zu sichern [Mer-06].

## 5 Fazit

Nachhaltige industrielle Wertschöpfungsnetze beschreiten den Entwicklungspfad zu globalem Wohlstand in der Balance von Zusammenarbeit und Wettbewerb. In der globalen Wettbewerbsarena lernen sich die Akteure der Wertschöpfung mit moderner Informations- und Kommunikationstechnik rasch kennen, entdecken in der Produktivität ihrer Prozesse und der Qualität ihrer Produkte ihre Wettbewerbsstärke. Sie lernen aber auch, dass sie im globalen Dorf aufeinander angewiesen sind und versuchen, in austauschender Zusammenarbeit füreinander nützlich zu sein. Man lehrt einander und lernt voneinander, bildet Kompetenzen und konkurriert um Beiträge in Wertschöpfungsprozessen, um den eigenen Wohlstand zu erhöhen. Dabei wird immer deutlicher, dass materielle Ressourcen zum Engpassfaktor werden. Hier ergibt sich die zentrale Herausforderung, global mehr Nutzen und Wohlstand mit weniger Ressourcen zu erreichen.

## 6 Literatur

- [Bac-98] Backhaus, K., Bonus, H.: Die Beschleunigungsfalle oder der Triumph der Schildkröte, Schäffer-Poeschel Verlag, 1998.
- [BMU-06] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Ökologische Industriepolitik-Memorandum für einen "New Deal" von Wirtschaft, Umwelt und Beschäftigung, Berlin, 2006.
- [Bra-94] V. Braun, C.-F.: Der Innovationskrieg. Ziele und Grenzen der industriellen Forschung und Entwicklung, Carl Hanser Verlag, 1994.
- [ENQ-98] Enquete-Kommission des Bundestages: Abschlußbericht der Enquete-Kommission des 13. Deutschen Bundestages, Drucksache 13/11200, Berlin, 1998.
- [Rei-02] Reichl, H.; Seliger, G.: Einsatz produktbegleitender Informationssysteme und ihre Auswirkungen auf die Produktionstechnik (EPI), Ergebnisbericht einer Voruntersuchung für das BMBF, <http://www.epi.tu-berlin.de/>, Aufruf 20.Mai 2007.
- [Fin-07] Finkbeiner, M.: Nachhaltigkeitsbewertung von Produkten und Prozessen – vom Leitbild zur Umsetzung, Tagungsband 12. Produktionstechnisches Kolloquium PTK 2007.
- [GET-07] [www.global-engineering-teams.org](http://www.global-engineering-teams.org)
- [GPD-07] [www.gpd.tu-berlin.de](http://www.gpd.tu-berlin.de)
- [Gro-06] Grötschel, M., Hinrichs, H., Schröer, K., Tuchscherer, A.: Ein gemischt-ganzzahliges lineares Optimierungsmodell für ein Laserschweißproblem im Karosseriebau, Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb (ZWF) Karosseriebau, 101:5, p. 260-264, 2006.
- [GS-03] Goldman Sachs: Dreaming with BRICs: The Path to 2050, Global Economics Paper No: 99, 2003.
- [JON-79] Jonas, H.: Das Prinzip Verantwortung. Versuch einer Ethik für die technologische Zivilisation, Insel Verlag, Frankfurt a. M., 1983.

- [Keb-04] Kebir, N.; Philipp, D.: Opening New Markets with Adapted Renewable Energy Systems and Microfinancing, in Seliger, G. (Hrsg.): Proceedings Global Conference on Sustainable Product Development and Life Cycle Engineering, Berlin, 2004.
- [Kru-05] Krüger, J., Nickolay, B., Heyer, P.: Image based 3D Surveillance for flexible Man-Robot-Cooperation. In: CIRP Annals 2005, STC A, 54/1/2005, p. 19, 2005.
- [Kue-05] Kübler, D., Bohnet, L. Compensating the Co-operators: Is Sorting in the Prisoner's Dilemma Possible?, Journal of Economic Behaviour and Organization 56, S. 61-76, 2005.
- [Mea-72] Meadows, D. H.; Meadows D. L.; Randers J.; William W.: The Limits to Growth. A report for the Club of Rome's project on the predicament of mankind, Earth Island, London, 1972.
- [Mer-06] Mertins, K., Orth, R.: "Strategisches und operatives Wissensmanagement - Ein ganzheitlicher Ansatz." In: VDI Wissensforum IWB GmbH (Hrsg.): VDI-Berichte Nr. 1964 - Ingenieurwissen effektiv managen. Düsseldorf, VDI-Verlag, p. 3 - 24, 2006.
- [Moe-03] Möhring, R. H., Uetz, M.: Scheduling scarce resources in chemical engineering, in Mathematics, Key Technologies for the Future: Joint Projects between Universities and Industry, W. Jäger and H.-J. Krebs, eds., Springer-Verlag, Berlin, 2003.
- [Por-99] Porter, M. E., Wettbewerbsstrategie. ( Competitive Strategy), Campus Fachbuch, 1999.
- [Rab-06] Rabe, M., Jaekel, F.-W., Weinaug, H.: Reference Models for Supply Chain Design and Configuration. 2006 Winter Simulation Conference (WSC), Monterey (USA), p. 1143-1150., 04.-06. December 2006.
- [RMI-07] Rocky Mountain Institute: RMI's Headquarters Building, <http://www.rmi.org/sitepages/pid229.php>, Aufruf 1. Oktober 2007.
- [Sel-97] Seliger, G.; Karl, H.; Weber, H.: Co-operative design, manufacturing and assembly of complex products, CIRP Annals, STC Dn, 46/1/1997, 1997.
- [Sel-01] Seliger, G.: Unternehmenswerte durch produktionstechnische Forschung, Tagungsband 10. Produktionstechnisches Kolloquium PTK 2001, S.61-68, 2001.
- [Sel-07] Seliger, G. (Ed.): Sustainability in Manufacturing – Recovery of Resources in Product and Material Cycles, Springer, Berlin Heidelberg New York, 2007.
- [Sim-06] Simmons, M.: Wenn der Wüste das Öl ausgeht. Der kommende Ölschock in Saudi-Arabien. Chancen und Risiken., Finanzbuch Verlag, München, 2006.
- [Sta-07] Stamminger, R.: Poster zum Bundesweiten Aktionstag Nachhaltiges Waschen 2007, <http://www.haushaltstechnik.uni-bonn.de/>, Aufruf 1. Oktober 2007.
- [Str-07] Straatmann, J.; Salazar, M.: Empowering Communities in the Amazon Rain Forest by the Mini-Factory Concept for Processing Non Timber Forest Products, Tagungsband 12. Produktionstechnisches Kolloquium PTK 2007.
- [Uhl-04] Uhlmann, E.; Friedrich, T.; Früsch, I.: Strategies for Increasing the Efficiency of Disassembly Systems. In: 11th International CIRP Life Cycle Engineering Seminar. Bel-grade, Serbia, 2004.
- [UN-92] United Nations: Konferenz der Vereinten Nationen für Umwelt und Entwicklung im Juni 1992 in Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1992.
- [UNDP-07] United Nations Development Program: Making Globalization Work for All, United Nations Development Program Annual Report 2007.
- [UNDESA-06] United Nations DESA: The Millennium Development Goals Report 2006, 2006.
- [VDA-04] Verband der Automobilindustrie e.V (VDA): Auto Jahresbericht 2004, Henrich Druck + Medien, ISSN 0171-4317, 2004.

- [VDI-3780] Verein Deutscher Ingenieure: Technikbewertung - Begriffe und Grundlagen, VDI-Hauptgruppe Der Ingenieur in Beruf und Gesellschaft, Beuth Verlag, Berlin, 2000.
- [WCE-87] Work Commission on Environment and Development: Our Common Future, Oxford, 1987.
- [Wei-97] V. Weizäcker, E.U., Lovins, A.B., Lovins, L.H., Faktor vier – Doppelter Wohlstand – halbiertes Verbrauch. Der neue Bericht an den Club of Rome. Knauer, München, 1997.
- [WKE-05] Wirtschaftskommission für Europa, Ausschuss für Umweltpolitik: UNECE-Strategie über die Bildung für Nachhaltige Entwicklung, CEP/AC.13/2005/3/ Rev.1, 2005.
- [WUP-05] Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie: Fair Future – Ein Report des Wuppertal Instituts, C.H. Beck, München, 2005.
- [WWF-06] World Wide Fund For Nature: Living Planet Report 2006, Ropress, Switzerland, 2006.