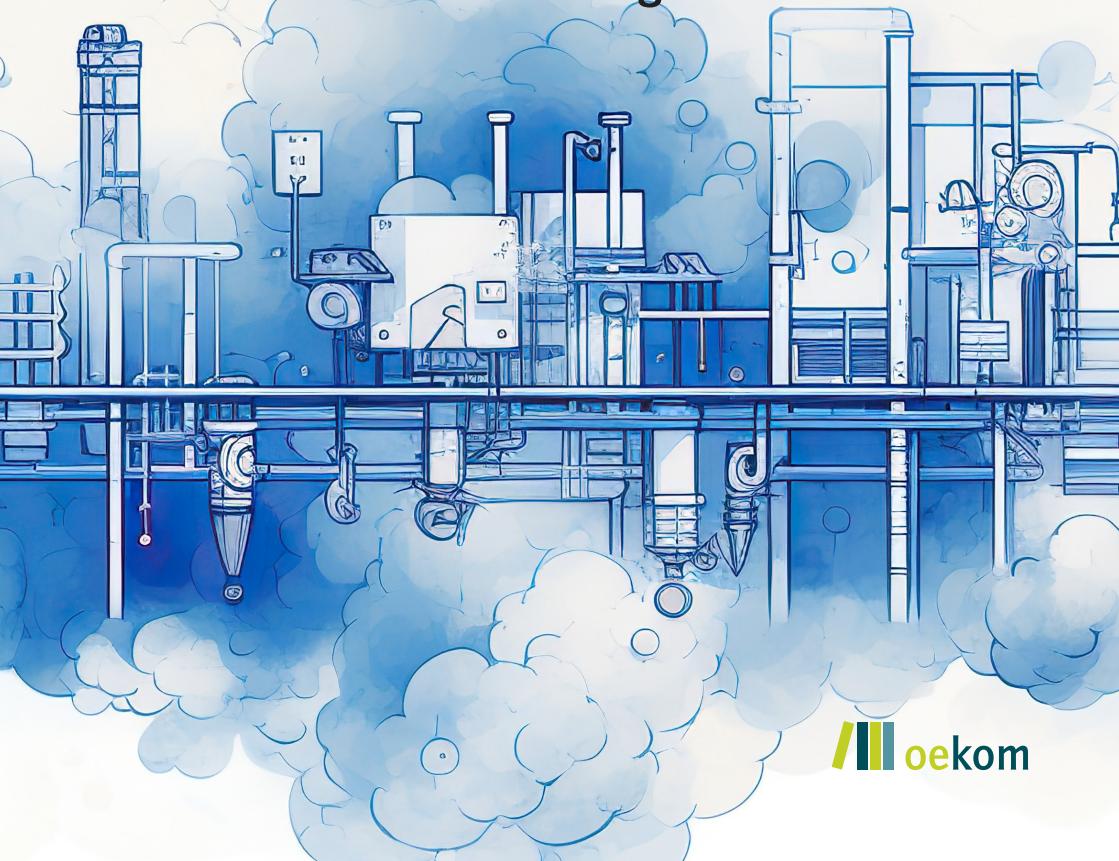


Jan Michael Goldberg

Konsequent effizient

Automatisierungstechnik
für eine nachhaltige Zukunft



natürlich oekom!

Mit diesem Buch halten Sie ein echtes Stück Nachhaltigkeit in den Händen. Durch Ihren Kauf unterstützen Sie eine Produktion mit hohen ökologischen Ansprüchen:

- 100 % Recyclingpapier
- mineralölfreie Druckfarben
- Verzicht auf Plastikfolie
- Kompensation aller CO₂-Emissionen
- kurze Transportwege – in Deutschland gedruckt

Weitere Informationen unter www.natuerlich-oekom.de
und #natuerlichoekom



Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation
in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische
Daten sind im Internet über www.dnb.de abrufbar.

© 2023 oekom verlag, München
oekom – Gesellschaft für ökologische Kommunikation mbH
Goethestraße 28, 80336 München

Layout und Satz: Jan Michael Goldberg
Lektorat: Valerie Lohbeck
Umschlaggestaltung: Laura Denke, oekom verlag
Umschlagabbildung: © Graphic Warrior/Adobe Stock
Druck: CPI books GmbH, Leck

Alle Rechte vorbehalten
ISBN 978-3-98726-078-0
E-ISBN 978-3-98726-316-3
<https://doi.org/10.14512/9783987263163>



Jan Michael Goldberg

Konsequent effizient

Automatisierungstechnik
für eine nachhaltige Zukunft



YT

Was erwartet Sie?

Wir alle konsumieren. Das tun wir den lieben langen Tag – sogar in der Nacht. Eigentlich immer. Gleichzeitig produziert jeder mit seiner Arbeit Dinge, die wiederum von anderen konsumiert werden. Diese beiden Faktoren – Produktion und Konsum – stehen im Fokus unseres alltäglichen Handelns, oftmals unbewusst. Was uns jedoch immer bewusster wird: Unsere Art zu produzieren und zu konsumieren führt zu erheblichen Umweltbelastungen und einer Knappheit von Ressourcen.

Alle Welt fragt sich, wie diesen Herausforderungen begegnet werden kann, um schädliche Entwicklungen auf der Erde abzuwenden. Als zentraler Hebel für mehr Nachhaltigkeit wird gemeinhin die Steigerung der Effizienz in der Produktion genannt – allen voran durch Automatisierung: Durch die effizientere Nutzung der Ressourcen würden Umweltbelastungen stetig verringert. Allerdings führt mehr Effizienz auch zur Senkung von Kosten und somit zu fallenden Preisen. Fallende Preise führen zu mehr Konsum – und somit mehr absoluten Ressourcenverbrauch. Solche Folgen und Folgesfolgen von Effizienzsteigerungen durch Automatisierungstechnik stehen im Mittelpunkt dieses Buches.

Besonders als Ingenieurin oder Ingenieur ist man oft der Vorstellung erlegen, mit der eigenen Arbeit am »Fortschritt der Technik« mitzuwirken und somit Gutes für die Welt zu bewegen. Um nicht zu viel vorwegzunehmen: Das ist mitunter ein Trugschluss. Es gibt weitere Bedingungen, die gelten müssen, damit die Welt durch eine Steigerung der Effizienz gerettet werden kann. Dieses Buch hat dabei zum Ziel, ein Bewusstsein und Verständnis für diese Zusammenhänge zu entwickeln. Ein großes Vorwissen wird nicht benötigt. Besonders spannend ist es für technisch ausgebildete Personen und produzierende Unternehmen, die sich für die Auswirkungen ihres Handelns interessieren. Aber nicht nur für Personen mit technischer Profession lohnt sich ein Blick in das Buch, sondern für jeden Menschen, der konsumiert und produziert. Denn wie wir künftig produzieren und konsumieren, entscheidet über die Zukunft unserer Welt.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	9
2	Produktion, Konsum, Effizienz und Automatisierungstechnik .	13
2.1	Am Anfang stand die Energie.....	13
2.2	Was ist Effizienz?.....	15
2.3	Wie wird Effizienz gesteigert?.....	16
2.4	Wie hat Technik die Effizienz bisher beeinflusst?	19
2.5	Warum gibt es Effizienzsteigerungen?	21
2.6	Effizienz während der industriellen Revolutionen	25
3	Alles wächst: Bevölkerung, Bedürfnisse, Wissen.....	33
3.1	Auswirkungen der Produktionsweise auf unsere Umwelt	33
3.2	Bevölkerungsentwicklung früher und heute	35
3.3	Die neue malthusianische Katastrophe	39
4	Malthus' Falle überwinden (mit Automatisierungstechnik).....	45
4.1	Fortschritt der Technik.....	45
4.2	Ziele von Automatisierungstechnikherstellern	50
4.3	Effizienz als Lösung.....	55
5	Rebound-Effekte und Backfire.....	63
5.1	Der Rebound-Effekt.....	63
5.2	Mikro bis Makro: Rebound-Effekte auf allen Ebenen.....	67
5.3	Jevons' Paradoxon abseits der Energie	70
5.4	Wie hoch ist der Rebound-Effekt?	72
5.5	Grenznutzen, Suffizienz und das Ende des Konsums	75
6	Technik entwickeln, Rebound reduzieren, Erde retten?	79
6.1	Modell mit Rebound-Effekt	79
6.2	Die Spitze des Backfires.....	85
6.3	Handlungsmöglichkeiten zur Beeinflussung der Faktoren ...	91

6.4	Zusammenfassende Diskussion.....	102
7	Fazit	107
	Literaturverzeichnis.....	113
	Über den Autor.....	125

1 Einleitung

Wenn ich morgens aufwache, liegt das in der Regel an meinem Smartphone. Ich greife es, stelle den Wecker ab. Mehr oder weniger viele Momente später torkele ich in die Küche, mache mir eine Schüssel Haferflocken, setze mich hin und esse. Darauf folgt die morgendliche Hygiene, das Anziehen – und der Weg zum Arbeitsplatz. Manchmal ist das eine Fahrt in die nächste Stadt, manchmal ein Gang an den heimischen Schreibtisch. So oder so ähnlich wird es den meisten Menschen in Industriegesellschaften gehen – zumindest denen, die (noch) keine Kinder im Haus haben.

Neulich erst habe ich festgestellt, dass meine Zahnpasta in Polen abgefüllt wurde. Mein T-Shirt wurde in Bangladesch gefertigt. Von den Bestandteilen meines Smartphones möchte ich gar nicht erst anfangen, weil ich ehrlich gesagt auch einfach nicht weiß, woher die einzelnen Komponenten kommen. Auf dem Weg zur Arbeit geht es weiter: Ich schaue mich um und sehe Autos, Häuser, ein Fußballstadion. Diese Dinge herzustellen war komplex. Allein wie viele Hände ineinandergreifen müssen, bis so ein Auto entsteht – Wahnsinn! Mich beeindruckt das jedes Mal aufs Neue, wenn ich darüber nachdenke. Beeindruckend ist auch, wie viele Produkte komplexer Herstellungsprozesse ich in den ersten paar Minuten des Alltags schon genutzt habe – von der Zahnpasta bis zum Straßenbelag, auf dem ich mich bewege. Ich konsumiere.

Am Arbeitsplatz angekommen – ob in der Firma oder im Homeoffice – starte ich den Rechner und fange an zu arbeiten. Als kleines Rädchen im großen Getriebe trage ich dazu bei, dass in unserer Fabrik Produkte entstehen und danach auch verkauft werden können. Andere schneiden Haare, backen Brötchen, komponieren Musik, spielen vielleicht sogar professionell Fußball. Allen gemein ist, dass am Ende ihrer Arbeit ein Produkt oder eine Dienstleistung steht – und dieses soll im optimalen Fall wiederum von anderen konsumiert werden.

Einen großen Teil unserer Zeit erzeugen oder verbrauchen wir irgendwas. Oftmals sogar gleichzeitig – um zu produzieren, konsumieren wir die Produkte anderer. Beispielsweise benutze ich zum Schreiben dieses Textes einen Laptop. Zudem produzieren und konsumieren nicht nur Menschen: Alles, was lebt, produziert und konsumiert – dabei ist es einerlei, ob Pflanze oder Tier. Beispielsweise »melken« Ameisen Blattläuse. Pflanzen dahingegen produzieren Sauerstoff, den wiederum andere Lebewesen benötigen. Zumindest aber erzeugt ein Lebewesen sich im Zuge der Selbsterhaltung selbst; und sei es auch nur als Nahrungsquelle für andere.

Aufgrund der zentralen Bedeutung dieser beiden Faktoren – Produktion und Konsum – auf unser Leben möchte ich auf diese noch etwas näher eingehen. Dazu dient mir das zweite Kapitel dieses Buchs. Darin zeige ich unter anderem aber auch, dass wir Menschen uns mit dem Status quo bekanntlich selten zufriedengeben. Wir wollen unsere Art zu produzieren in der Regel verbessern, also effizienter machen. Um nicht zu viel vorwegzunehmen an dieser Stelle nur so viel: Die Steigerung der Effizienz hat einen bedenkenswerten Effekt auf unsere Produktion und unseren Konsum. Und die Steigerung von Effizienz hat in den meisten Fällen mit Entwicklung von Technik, vor allem zur Automatisierung, zu tun. Lassen Sie uns auch hier die Zusammenhänge erschließen!

Doch um zu produzieren und zu konsumieren braucht es vor allem eines: Ressourcen. Darum erweitere ich im dritten Kapitel mein Argument um die Herausforderungen und Grenzen, die mit unserer Produktion und unserem Konsum einhergehen. Denn viele der Ressourcen, die wir für unsere Produktion brauchen, sind nicht erneuerbar. Das vielleicht bekannteste Beispiel ist Öl: Es ist vor Millionen von Jahren aus biologischen »Abfällen« entstanden, kann nach derzeitigem Stand der Technik jedoch nicht auf wirtschaftliche Weise künstlich erzeugt werden. Wir verbrennen es, wodurch es nicht mehr nutzbar ist und zudem Schadstoffe freisetzt. Durch unsere Art zu konsumieren und zu produzieren verbrauchen wir viele

unserer Ressourcen dauerhaft. Gleichzeitig belasten wir unsere Umwelt. Auch darum haben die Vereinten Nationen die Themen Konsum und Produktion als eines von 17 Zielen in ihrer Agenda für nachhalte Entwicklung aufgenommen (United Nations, 2023).

Technologie hat in der Geschichte der Menschheit jedoch schon mehrfach dazu geführt, dass Grenzen überwunden werden konnten. Das liegt u. a. daran, dass durch Automatisierung die Art zu produzieren enorm verändert wurde: So haben die Effizienzsteigerungen der letzten 200-300 Jahre zur Folge, dass Dinge, die früher unmöglich erschienen, heute selbstverständlich sind. Darum ist im vierten Kapitel skizziert, wie Automatisierungstechnik auch in Zukunft zum Wohle der Menschheit beitragen kann.

Allerdings steigert neue Technologie nicht nur die Effizienz, sondern hat weitere Effekte. Im fünften Kapitel werden jene Nebeneffekte aufgezeigt, die vielleicht nicht immer auf den ersten Blick einleuchten. An dieser Stelle ein kleiner Spoiler: Technologie verändert nicht nur die Produktion, sondern indirekt auch den Konsum. Effizienzsteigerungen führen nämlich dazu, dass Produkte günstiger werden, was die Nachfrage ankurbelt – am Ende wird mehr produziert, was wiederum zu einer Beschleunigung des Ressourcenverbrauchs führen kann.

Im sechsten Kapitel wird dieser Widerspruch aufgegriffen: Hilft oder schadet Technologie nun? Und unter welchen Bedingungen leistet die Weiterentwicklung der Automatisierungstechnik einen positiven Beitrag zum Erhalt der Welt und Lebensweise, wie wir sie kennen? Am Ende lasse ich es mir nicht nehmen, Handlungsmöglichkeiten von Politik, Unternehmen aber auch des Einzelnen aufzuzeigen, bevor ich dieses Buch im siebten Kapitel mit einem Fazit abschieße.

An dieser Stelle wünsche ich Ihnen eine anregende Lektüre, neue Erkenntnisse und Ansätze zum Weiterdenken und Diskutieren. Für den weiteren Verlauf dieses Buches werde ich Sie bis zum Fazit nun insofern verlassen, dass die Ich-Perspektive in den Hintergrund tritt. Allerdings bin ich

nicht ganz weg – und freue mich natürlich über Rückmeldungen und Ihre Gedanken zu meinen Gedanken.

4 Malthus‘ Falle überwinden (mit Automatisierungstechnik)

4.1 Fortschritt der Technik

Das Ökosystem auf der Erde steht aufgrund der menschlichen Art und Weise zu produzieren und zu konsumieren vor erheblichen Herausforderungen, denn Produktion und Konsum waren in der Vergangenheit die entscheidenden Faktoren für die materielle Veränderung der Erde – und werden es auch in der Zukunft sein. Wie festgestellt ist die Automatisierungstechnik dabei ein wesentlicher Hebel zur Veränderung: Ihre Weiterentwicklung veranlasst die der Produktion. Oft ist hierbei auch vom »technischen Fortschritt« die Rede. Bisher wurde die Verwendung dieses Begriffes bewusst vermieden; Fortschritt impliziert nämlich immer eine Richtung der Entwicklung. Es wird zwischen »gutem Fortschritt« und »schlechtem Rückschritt« unterschieden. Das setzt eine Skala voraus, auf der wir »gut« und »schlecht« bewerten können. In der Regel wird diese Bewertung durch ein Ziel bestimmt: Fördert eine Entwicklung die Erreichung eines Ziels, ist sie »guter Fortschritt«, behindert sie dessen Erreichung, so ist sie ein »schlechter Rückschritt«. Wenn wir wie selbstverständlich von einem Fortschritt der (Automatisierungs-)Technik sprechen, impliziert das in den meisten Fällen also ein Ziel, das so allgemeingültig ist, dass alle dieses (unbewusst) teilen. Welches kann das sein?

Nähern wir uns der Frage vielleicht zunächst mit der Klarstellung, was kein Ziel sein kann. Ziel kann es nicht sein, einfach nur eine neue (andere) technische Lösung darzubieten. So kann eine neue technische Lösung einen Vorgang zwar auf eine neue Art und Weise ausführen, doch ist diese neue Art und Weise eben nicht zwangsläufig »besser« als die vorherige. Ein geeignetes Beispiel dafür stellen Rube-Goldberg-Maschinen dar. Hierbei

handelt es sich um Konstrukte, die eine einfache Aufgabe über eine möglichst komplizierte Abfolge von Wirkungen ausführen – komplex, technisch raffiniert und dennoch unnötig. Um zum Beispiel Wasser in ein Glas einzufüllen, könnte man eine Murmel anstoßen, die einen Toaster einschaltet, mit dessen Hitze eine Schnur durchtrennt wird, an deren Ende ein Gewicht hängt, das ein Katapult auslöst, dessen Geschoss ein Buch umkippen lässt, welches wiederum eine Reihe von Büchern wie Dominosteine zum Umfallen bringt – und an deren Ende eine mit Wasser gefüllte Karaffe steht, die so fällt, dass das darin enthaltene Wasser in einem Glas aufgefangen wird. Zweifelsohne handelt es sich hierbei um eine neue technische Lösung, ein Glas mit Wasser zu befüllen. Niemand aber würde auf die Idee kommen, diese als »fortschrittlich« zu bezeichnen.

Vielmehr muss eine neue Lösung etwas »besser« als die vorherige können. Eine Technik wird gemeinhin als besser bezeichnet, wenn ihr Resultat monetär verwertbar ist, also Gewinn bringt – mehr Gewinn bringt als die vorherige Lösung. Dieser monetäre Ansatz folgt einem kapitalistischen Dogma. Eine neue Technik bringt beispielsweise mehr Geld, indem sie zu Arbeitseinsparungen führt, Dinge schneller macht, weniger Ausschuss produziert. Technologie folgt diesem Ziel in der Regel also, wenn sie Prozesse effizienter macht. Eine höhere Effizienz geht gemeinhin mit dem Prinzip der Gewinnmaximierung einher. Gesamtwirtschaftlich aber ist die Maximierung von Gewinn nicht zwingend auch daran gekoppelt, (1.) Ressourcen nicht aufzubrauchen oder (2.) die Umweltbelastungsgrenze des Lebens auf dem Planeten nicht zu erreichen. Hier scheint eine Veränderung des Ziels – und somit eine Änderung der Bewertung technischen Fortschritts – notwendig, wenn sich wirtschaftliches Handeln an den beiden genannten Herausforderungen orientieren soll. Aus diesem Grund wird im Folgenden nun versucht, ein neues Ziel zu formulieren, welches die neuen malthusianischen Grenzen einbezieht.

Was also wäre ein Ziel, hinter dem sich viele Menschen versammeln können und an dem sie, ohne es auszusprechen (oder vielleicht sogar ohne sich dessen bewusst zu sein), das übergeordnete Handeln einer Gesellschaft messen? Damit ein Ziel möglichst allgemeingültig ist, sollte es auf möglichst wenigen kulturellen Normen und sozialen Konstruktionen aufbauen. Das ist vor allem auf einer abstrakteren Ebene der Fall, die nicht Teil der täglichen Gedankenwelt ist. Vom ganz Allgemeinen zum Speziellen drängen sich vier solcher Ziele auf: (1.) Rettung des kohlenwasserstoffbasierten Lebens an sich, (2.) Rettung der Menschheit, (3.) Aufrechterhaltung der Zivilisation und (4.) Wohlstand für alle.¹⁷ Diese Ziele bauen dabei aufeinander auf und können als Vorschlag für einen Maßstab genommen werden, an dem technischer Fortschritt bewertet werden kann. Ein Maßstab ist an dieser Stelle nötig, weil es ohne einen solchen unmöglich ist, Bedingungen zu formulieren, unter denen die Automatisierungstechnik zu einer höheren Nachhaltigkeit beiträgt. Das hintere Ziel kann ohne das vordere nicht erreicht werden, womit die vorderen Ziele eine höhere Priorität haben. Sie werden nun kurz weitergehend erläutert:

1. Priorität (Rettung des Lebens): Wenn es ein Ziel gibt, dass möglichst frei von sozialen Konstruktionen ist, dann ist es der Fortbestand des kohlenwasserstoffbasierten Lebens selbst.¹⁸ Mit »Leben« sind hierbei

¹⁷ Diese Ziele sind nicht abschließend wahr, sondern werden hiermit zugleich zur Diskussion gestellt. Wer bessere findet, ist gebeten, sich in die Diskussion einzuklinken. Für das weitere Verständnis dieses Buches reicht es aber, sie als zutreffend anzunehmen.

¹⁸ Vielleicht gibt es auch ein höheres Ziel des Lebens, das wir aufgrund der Beschränktheit unserer Wahrnehmung nicht sehen (können).

Lebewesen, Tiere und Pflanzen, zu verstehen.¹⁹ Dabei ist die Frage, ob das Leben auf der Erde oder anderswo stattfindet, erst einmal unerheblich.²⁰

2. Priorität (Rettung der Art *homo sapiens sapiens*): Eine Rettung des Lebens im Allgemeinen bedeutet noch nicht, dass auch speziell eine einzelne Art – zum Beispiel der moderne Mensch – von dieser Rettung mit einbezogen ist. Die zweite Priorität erweitert das Ziel also speziell auf die Rettung der Menschen.

3. Priorität (Aufrechterhaltung von Zivilisation): Die Rettung der Menschen wäre auch erreicht, wenn eine kleine Population in Höhlen leben, wilde Tiere jagen und Beeren sammeln würde – und somit auf den Status vor der Beherrschung des Feuers zurückfiele. Dahin zurück kann keiner wollen. Es ist darum ein Ziel von hoher Priorität, das erreichte Wissen sowie die Vielfalt und Anzahl an Menschen und Kulturen zu bewahren – im weitestgehenden Sinne also die Zivilisation aufrechtzuhalten. Damit ist jedoch keine Zementierung des Status quo gemeint; die Zivilisation kann und muss sich weiterentwickeln, veränderlich sein.

Dieses Ziel beinhaltet auch, dass weiterhin Leben auf der Erde stattfindet. Wird die auf Menschen zentrierte Sichtweise verlassen, so ist für die Aufrechterhaltung von Zivilisation zudem ein intaktes Ökosystem relevant. Hierzu zählt auch der Schutz anderer Lebewesen, die letztendlich

¹⁹ Die Frage, inwieweit künstliche Intelligenz auch als Leben klassifiziert werden kann, wird in der Zukunft eine spannende werden. Hier wird künstliche Intelligenzen nicht inkludiert.

²⁰ Bewusst wird hier nicht die »Rettung der Erde« als Ziel angegeben. Ohne Leben ist die Erde auch nur ein großer Klumpen Materie – und den Planeten wird durch die Menschen wohl kaum gesprengt werden. Dass das Leben auf der Erde stattfinden sollte, ist Teil von Priorität 3.

auch zu einem symbiotischen Miteinander auf der Welt führen. Ein Schutz anderer Arten geht also einher mit dem Schutz der eigenen Art.

4. Priorität (Schaffung eines Lebens in Wohlstand für alle): Es soll allen gut gehen. Diese Aussage ist nicht logisch zwingend, aber die allermeisten Menschen würden ihr zustimmen. Sie meint, dass Menschen nicht frieren oder hungern sollen und ihnen ein Leben in Wohlstand möglich ist. Dabei ist die Diskussion um das, was »Wohlstand« eigentlich ist, eine sehr berechtigte. Wird der Wohlstand auf Staatenebene klassischerweise durch das Bruttoinlandsprodukt (BIP) ausgedrückt, kommen neuerdings auch alternative Erklärungsversuche auf. Diese beziehen andere Faktoren von Lebensqualität mit ein, wie freie Meinungsäußerung, gesunde Umwelt etc. (vgl. Bofinger, 2020, S. 635–636; von der Lippe, Breuer, Diefenbacher, Zieschank & Brachinger, 2010).

Die Überschreitung der neuen malthusianischen Grenzen führt dazu, dass diese Ziele nicht erreicht werden. Zunächst wird der Wohlstand aller bedroht, weil knappere Ressourcen unweigerlich dazu führen, dass manche zu diesen keinen Zugang haben (4. Priorität). Zudem können sich nicht alle gleichermaßen vor Umwelteinflüssen abschotten. Jedoch werden zunächst nicht alle Menschen ein schlechtes Leben haben.²¹ Die Zivilisation bleibt so lange bestehen, bis keine Ressourcen mehr vorhanden sind, um diese aufrechtzuerhalten (3. Priorität). Das kann sich schon darin äußern, dass ressourcenbedingt Theater aufgelöst werden oder Rechenzentren nicht mehr betrieben werden können. Wenn viele Menschen sterben, beschädigt das die Zivilisation zudem stark. Das nächste übergeordnete Ziel (2. Priorität) würde jedoch erst bei einer enormen ökologischen Kata-

²¹ Wenn eine Gleichverteilung aller Ressourcen dazu führen würde, dass alle zu wenig haben, wird eine stärkere Ungleichheit bei der Verteilung der Ressourcen die Folge sein. Einige werden viel zu wenig haben, während andere auskömmlich versorgt sind.

strophe angetastet: Alle größeren Säugetiere würden bei einer solchen früher oder später sterben – auch der Mensch. Das erste Ziel (1. Priorität) scheint also auch durch eine Überschreitung der neuen malthusianische Grenzen beinahe unantastbar – irgendwo wird immer ein Pflänzchen stehen bleiben oder ein Bakterium überleben.

Die alltägliche Gedankenwelt bewegt sich weitestgehend im Rahmen der vierten Priorität, das wirtschaftliche Handeln ist ebenfalls weitestgehend auf dieses Ziel ausgerichtet. Möglicherweise führt das dazu, dass die anderen Ziele aus dem Fokus verschwinden. So ist es denkbar, dass Handlungen zur Verbesserung von Ziel 4 den davor gelagerten entgegenwirken. Da die Ziele aber aufeinander aufbauen, wäre das auf lange Sicht kein gutes Vorgehen. Daher ist es wichtig, die bisherigen Handlungen – insbesondere die Technikentwicklung – in Bezug auf die genannten Ziele abzugleichen und dann zu entscheiden, ob sie fortschrittlich oder doch eher rückschrittlich sind. Im derzeitigen Wirtschaftssystem werden Effizienzsteigerungen als fortschrittlich bezeichnet, wenn sie zu Kostensenkungen und Wettbewerbsvorteilen führen – letztendlich aktuell den monetären, materiellen Wohlstand erhöhen. Das heißt aber nicht automatisch, dass Effizienzsteigerungen den vorgelagerten Zielen nicht auch entgegenstehen. Ob Effizienzsteigerungen auch aus Sicht der anderen genannten Ziele fortschrittlich sind, wird im Folgenden diskutiert. Dazu wird zunächst die Perspektive der Unternehmen betrachtet, die Automatisierungstechnik herstellen.

4.2 Ziele von Automatisierungstechnikherstellern

Effizienzsteigerungen kommen nicht von selbst, sondern werden durch Menschen in Unternehmen herbeigeführt. Dabei sind es besonders die Hersteller von Automatisierungstechnikkomponenten, die die Effizienz

der Produktion beeinflussen. Der Effekt ihres Handelns kann den Herstellern kaum verborgen geblieben sein. Auch deswegen lohnt sich ein Blick auf deren Selbstverständnis. Im Weiteren werden aus diesen Gründen Unternehmensaussagen zu Effizienzsteigerungen aufgezeigt und analysiert; ferner betrifft das Aussagen zu den generellen Zielen der Unternehmen sowie speziell zum Themenbereich Nachhaltigkeit. Dabei geht es nicht darum, einzelne Unternehmen zu bewerten oder besonders herauszustellen, sondern vielmehr darum, ein generelles Verständnis für die zusammenfassende Sichtweise der Automatisierungshersteller zu erlangen, sofern es eine solche gibt. Auch wird hier ohnehin nur ein Ausschnitt von Unternehmen betrachtet, der keinen Anspruch auf Vollständigkeit erhebt.

Das weltweit größte Automatisierungstechnikunternehmen, Siemens, schreibt zum Thema Nachhaltigkeit auf seiner Unternehmenswebsite, dass es seit nunmehr 175 Jahren der Antrieb von Siemens ist, mit »Technologien das Leben von Menschen auf der ganzen Welt zu verbessern« (Siemens, 2022). Der Unternehmenszweck »Transform the Everyday – Technologien, die dem Menschen dienen« schlägt in dieselbe Kerbe (vgl. Siemens, 2021, S. 21). Dieses Ziel entspricht weitestgehend auch dem hier definierten Ziel 4 (Wohlstand für alle), wenngleich die Formulierung sehr allgemein ist. Etwas konkreter wird Siemens im Nachhaltigkeitsbericht 2021: Dieser beginnt mit der Erwartungshaltung, »mit weniger Ressourcen mehr Lebensqualität [zu] schaffen«.²² Weiter wird ausgeführt, dass der steigende CO₂-Anstieg der Preis für diesen Fortschritt sei. Lösungsvorschlag ist, wirtschaftliches Wachstum vom Ressourcenverbrauch zu entkoppeln. Das war »in den vergangenen Jahrzehnten« bei mehr als 30 Nationen erfolgreich (vgl. Siemens, 2021, S. 4).

²² Die Verbesserung der Lebensqualität ist auch wesentliches Ziel von Rockwell Automation: »Unser Ziel ist es, die Lebensqualität für Alle zu verbessern, indem wir die Welt produktiver und nachhaltiger machen.« (Rockwell Automation, 2022)

Der Bezug auf den Ressourcenverbrauch anstatt auf den Energieverbrauch geschieht vor dem Hintergrund, dass die Nutzung erneuerbarer Energie keine oder weniger Treibhausgasemissionen verursacht. Hier wird beispielhaft deutlich, dass der Verbrauch unterschiedlicher Energien unterschiedlich bewertet werden muss. Tatsächlich konnte 2014 erstmals ein globales Wirtschaftswachstum beobachtet werden, ohne dass die Menge an ausgestoßenen Treibhausgasen stieg (vgl. Handrich, Kemfert, Mattes, Pavel & Traber, 2015, S. 5). Zudem kann eine sinkende Energieintensität²³ konventioneller Energieträger beobachtet werden – es muss also für die gleiche Wirtschaftsleistung relativ weniger Kohle, Öl und Gas verbrannt werden (vgl. Handrich et al., 2015, S. 27).

Das von Siemens genutzte Argument zielt in der Konsequenz also auch darauf ab, erneuerbare Energieträger weiter auszubauen. Das ist vor dem Hintergrund, dass der Anteil konventioneller, fossiler Energieträger bei knapp unter 80 Prozent liegt (vgl. REN21, 2022, S. 37), notwendige Voraussetzung zum Erreichen dieses Ziels. Hier setzt auch das Bild der Zukunft von Phoenix Contact an, in dem eine *All Electric Society* herbeigestrebt wird:

»Das Zukunftsbild der All Electric Society beschreibt eine Welt, in der Energie aus erneuerbaren Ressourcen in ausreichendem Maße und bezahlbar zur Verfügung steht. Neben der konsequenten Erzeugung und Nutzung regenerativer Energie sind die Senkung des primären Energiebedarfs durch Effizienzmaßnahmen und die Schaffung von intelligenten und vernetzten Systemen die Schlüssel für eine nachhaltige Zukunft.« (Phoenix Contact, 2022)

²³ Die Energieintensität beschreibt die Relation von eingesetzter Energie und monetären Ergebnis (bspw. eingesetzte Energie für die Erreichung des Umsatzes eines Unternehmens oder BIP eines Staates).

Bemerkenswert hier ist, dass trotz des Ausbaus erneuerbarer Energiequellen der Primärbedarf an Energie – wozu auch erneuerbare Energien zählen können – durch Effizienzsteigerungen kontinuierlich gesenkt werden soll. Dieses Bild der Zukunft geht also nicht von einem stetig steigenden Energiebedarf aus.

In seinem einheitlichen globalen Unternehmensziel verkündet Energietechnikhersteller Emerson: »Wir treiben Innovationen voran, welche die Welt gesünder, sicherer, intelligenter und nachhaltiger machen.« (Emerson, 2022a). Dabei ist Emerson durch den Planeten Erde motiviert: »Wir liefern nachhaltige Lösungen, die die Effizienz verbessern, Emissionen reduzieren und Ressourcen schonen.« (Emerson, 2022b).

Während der Blick von Phoenix Contact sehr auf die Energie fokussiert ist, bezieht sich Emerson allgemein auf Ressourcen – und schließt damit auch andere Ressourcen ein, die im Produktionsprozess benötigt werden und eine endliche Verfügbarkeit besitzen. Auf eine optimale Nutzung sowohl von Energie als auch Material/Ressourcen²⁴ fokussiert sich auch das Unternehmensziel des Elektrotechnikunternehmens Schneider Electric: »Das Ziel von Schneider besteht darin, die optimale Nutzung von Energie und Ressourcen zu ermöglichen und damit den Weg zu Fortschritt und Nachhaltigkeit für alle zu ebnen.« (Schneider, 2022) Dabei bleibt die konkrete Umsetzung der Interpretation dem Leser überlassen. Etwas ausführlicher benennt der Automatisierungstechnikhersteller Beckhoff Automation seinen Lösungsansatz. Er schreibt zum Thema Nachhaltigkeit und Wachstum auf der Unternehmenswebsite:

²⁴ Hier wird der Begriff »Ressourcen« für Material verwendet. In den meisten Stellen in diesem Buch sind mit den Ressourcen aber auch die fossilen Energieträger gemeint und somit indirekt auch die Energieträger mit abgedeckt.

»Die Menschheit wächst stetig, und erfreulicherweise nimmt der Wohlstand weltweit zu. Damit wächst aber auch der Bedarf an Rohstoffen und Energie, über die unser Planet nicht endlos verfügt. Um die Bedürfnisse aller Menschen zu erfüllen, sind daher kontinuierlich verbesserte Produktionsprozesse notwendig, die helfen, Energie und Materialeinsatz zu reduzieren. Diese Herausforderung muss von den Ingenieuren in allen Bereichen der Technologie weltweit gemeistert werden [...]. Daher ist Beckhoff überzeugt, dass ›... die Ingenieure die Welt retten müssen!«

Beckhoff Automation liefert hierfür die notwendige Basistechnologie. Unsere PC-Control-Steuerungstechnik ermöglicht äußerst kurze Zykluszeiten, die den Durchsatz von Maschinen verbessern und damit deren Effektivität erhöhen [...].

All diese Technologien helfen, die Effektivität von Prozessen zu optimieren; das heißt, den Energie- und Rohstoffverbrauch zu reduzieren und die Qualität und Wirtschaftlichkeit zu verbessern. Ökologische und ökonomische Anforderungen können zur selben Zeit erfüllt werden und stehen nicht im Gegensatz zueinander! [...]

Der größte Beitrag, den wir als Unternehmen zum Schutz unseres Planeten leisten, sind unsere Innovationen.« (Beckhoff Automation, 2022)

Beckhoff Automation geht hier sowohl auf die Problembeschreibung als auch auf die Effekte der Technologie detaillierter ein. Als zentrales Problem wird hier nicht die Umweltbelastungsgrenze, sondern die endliche Verfügbarkeit von Ressourcen angegeben. Effizienzsteigerungen²⁵ seien das Mittel, um Energie und Material einzusparen. Automatisierungstechnikkom-

²⁵ Beckhoff Automation schreibt hier zwar von Effektivitätssteigerungen, die hier aber mit Effizienzsteigerungen einhergehen.

ponenten würden die Basis darstellen, um jenes zu erreichen. Hervorzuheben ist hier die konkrete Formulierung, dass Ingenieure die Welt retten müssen: Es wird erkannt, dass die Auswirkung der eigenen Produkte auf die Welt größer ist als z. B. die Wirkung durch eine ökologische Führung des eigenen Unternehmens.

Die Zielsetzung von Mitsubishi Electric hebt sich von den anderen Unternehmen etwas ab. So soll »durch ständige technologische Innovation und unermüdliche Kreativität zur Schaffung einer lebendigen und entspannten Gesellschaft« beigetragen werden (Mitsubishi Electric, 2022). Allerdings hat auch Mitsubishi Electric kürzlich eine Kampagne gestartet, mit welcher der Effekt von Fabrikautomatisierung für eine nachhaltige Zukunft herausgestellt werden soll (Mitsubishi Electric, 2023).

Zusammenfassend erkennen die genannten Automatisierungstechnikhersteller, dass es ein Problem mit der derzeitigen Nutzung der Ressourcen gibt. Auch erkennen sie, dass die Nutzung der Ressourcen durch die Effizienz von Produktionsprozessen beeinflusst werden kann. Die grundlegende Idee besteht nun darin, die Effizienz so weit zu erhöhen, dass dadurch sowohl die wachsende Weltbevölkerung als auch das ansteigende Wohlstandsniveau im Mindesten ausgeglichen werden. Ihr Lösungsvorschlag besteht also darin, neue Technik zu entwickeln und durch diese eine Effizienzsteigerung herbeizuführen. Zugespitzt zusammengefasst werden kann dieser Anspruch durch den Ausspruch von Beckhoff Automation, dass »Ingenieure die Welt retten müssen«. Auf diese Sichtweise, die Effizienzsteigerungen als Lösung von Problemen sieht, geht der folgende Abschnitt näher ein.

4.3 Effizienz als Lösung

Aus der Unternehmensanalyse – insbesondere aus den ausführlichen Ausführungen von Beckhoff Automation – ergeben sich drei wesentliche Fak-

toren, die auf den Verbrauch von Material und Energie einen großen Einfluss haben: (1.) Das Wachstum der Bevölkerung, (2.) eine Wohlstandssteigerung und (3.) die Verbesserung der Effizienz. Im Weiteren werden diese Variablen in einem Modell zusammengefasst (siehe Formel 3). Bevölkerungs- und Wohlstandswachstum erhöhen dabei den Verbrauch von Ressourcen, Effizienzsteigerungen senken den Verbrauch. Wenn der Verbrauch sinken soll, muss also die Effizienzsteigerung größer sein als das Produkt von Bevölkerungs- und Wohlstandssteigerung. Da die Unternehmen auf das Bevölkerungs- und Wohlstandswachstum keinen Einfluss nehmen können, ist der überbleibende Hebel die Effizienz.

$$Verbrauch_{nachher} = \frac{Verbrauch_{vorher} * Bev.-wachstumsr.* Wohlstandswachstumsrate}{Effizienzsteigerung} \quad (3)$$

Alternativ kann dieser Zusammenhang statt mit Multiplikation und Division der Faktoren auch mit Addition und Subtraktion gezeigt werden (siehe Formel 4). Die Korrektur durch die Einsen geschieht, weil nur die prozentuale Steigerung/Verminderung relevant ist (mit einer 1 werden 100 Prozent ergänzt/abgezogen).

$$\begin{aligned} Verbrauch_{nachher} &= Verbrauch_{vorher} \\ &\quad * (1 + Bevölkerungswachstumsrate - 1) \\ &\quad + Wohlstandswachstumsrate - 1 \\ &\quad - Effizienzsteigerung + 1 \end{aligned} \quad (4)$$

Der Unterschied der beiden Formeln besteht darin, dass bei der oberen (Formel 3) davon ausgegangen wird, dass die Wohlstandssteigerung auf die neu hinzukommende Bevölkerung bereits zutrifft (die Effizienzsteigerungen aber auch schon wirksam werden). Das ist so, weil die Faktoren miteinander multipliziert werden. Bei der unteren Formel 4 werden Fak-

toren also erst in der Folgeperiode wirksam. Steigt der Verbrauch, so steigt er mit Formel 3 damit geringfügig schneller als in Formel 4. Bei langen Abständen der betrachteten Zeitpunkte (z. B. 10 Jahre) ist es sinnvoll, Formel 3 einzusetzen. Werden beispielsweise Zeiträume von 10 Jahren genutzt, haben die in den zehn Jahren hinzugekommenen Personen auf jeden Fall auch schon am Ressourcenverbrauch mitgewirkt.

In Tabelle 1 ist ein Rechenbeispiel zu finden, bei dem beispielsweise von einem jährlichen Wohlstands- und Bevölkerungswachstum von jeweils sechs Prozent und einer Effizienzsteigerung von jährlich zwei Prozent aus gegangen wird. Mit einer zunehmenden Länge der betrachteten Periode vergrößert sich der Abstand des Ergebnisses (ein Jahr: 0,0016, zehn Jahre: 0,0057).²⁶ Im Weiteren wird mit der Rechnungsversion verfahren, in der multipliziert bzw. dividiert wird.

Rechenart	ein Jahr	zehn Jahre
Multiplikation/ Division	$\frac{1,06 * 1,06}{1,02} = 1,1016$	$\sqrt[10]{\frac{1,06^{10} * 1,06^{10}}{1,02^{10}}} = 1,1057$
Addition/ Subtraktion	$1 + 1,06 - 1 + 1,06 - 1 - 1,02 + 1 = 1,1000$	$1 + \sqrt[10]{1,06}$ $-1 + \sqrt[10]{1,06}$ $-1 - \sqrt[10]{1,02}$ $+1 = 1,1000$

Tabelle 1: Vergleich der Anwendung von Formeln.

Bevor mit der Formel gerechnet werden kann, müssen die jeweiligen Variablen weiter definiert werden. Mag die Bevölkerungswachstumsrate noch einfach zu ermitteln sein, sieht das bei der Steigerung der Effizienz schon

²⁶ Nichtsdestotrotz sind beide Formeln Vereinfachungen, da nicht jede neu dazukommende Person den gleichen Ressourcenbedarf hat. Das neugeborene Baby braucht bspw. weniger Ressourcen als ein erwachsener Mensch.

ganz anders aus: Eine globale Ermittlung der Ressourceneffizienz erscheint schwer möglich. Leicht zugänglich dahingegen sind Angaben zum Energieverbrauch, womit im Weiteren der stoffliche Bereich der Produktion zunächst ausgeklammert wird. Zur Berechnung der Variablen werden also Daten zur Bevölkerungszahl, zur wirtschaftlichen Entwicklung (als inflationsbereinigtes BIP) und zum absoluten Energieverbrauch genutzt. Aus deren Verhältnissen können folgende Variablen gewonnen werden (siehe Abbildung 3):

- **Energieintensität:** Aus dem Verhältnis von inflationsbereinigtem BIP und Energieverbrauch ergibt sich die Energieintensität. Diese Kennzahl gibt Auskunft über die Energieeffizienz bezogen auf die Wirtschaftsleistung. Sinkt die Energieintensität, dann kann mit der gleichen Energie mehr BIP erzeugt werden oder mit weniger Energie das gleiche BIP.
- **Wohlstand pro Kopf:** Aus dem Verhältnis von BIP und Bevölkerungszahl kann dahingegen eine Aussage über das BIP pro Kopf ermittelt werden, das hier als Wohlstand pro Kopf bezeichnet wird.
- **Energieverbrauch pro Kopf:** Die dritte Kombination stellt das Verhältnis von Bevölkerungszahl und Energieverbrauch dar. Eine Verringerung des Pro-Kopf-Verbrauchs deutet auf eine Steigerung der Effizienz hin.

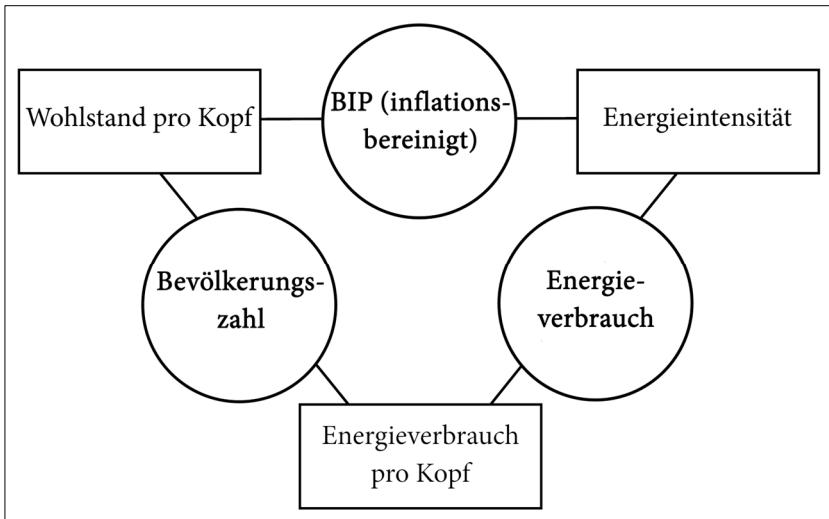


Abbildung 3: Zusammenhang von BIP, Bevölkerungszahl und Energieverbrauch.

Um nun das Bevölkerungswachstum zu berechnen, ist die Bevölkerungszahl zu zwei Zeitpunkten zu vergleichen. Das Wohlstandswachstum kann auf die gleiche Weise durch einen Vergleich des Wohlstands pro Kopf ermittelt werden. Für die Effizienzsteigerung ist die Veränderung des Energieverbrauchs pro Kopf jedoch kein gutes Maß, da hier das Wohlstandswachstum verzerrend wirkt: Durch ein höheres BIP pro Kopf steigt auch der Energieverbrauch pro Kopf. Der durch das Wohlstandswachstum (Erhöhung des BIP pro Kopf) erhöhte Energieverbrauch kann allerdings herausgerechnet werden (siehe Formel 5). BIP_i beschreibt dabei das BIP zum Zeitpunkt i . E_i den Energieverbrauch zum Zeitpunkt i , P_i die Bevölkerungszahl zum Zeitpunkt i . Der Index n dahingegen bezieht sich auf den Wert der Periode, die verglichen werden soll. Dadurch wird der Wohlstand pro Kopf ($\frac{BIP}{P}$) zum Zeitpunkt n normiert. Wenn man z. B. 2000 und 2020 vergleichen möchte, stellt man sich somit die Frage: Wenn 2000 bereits das Wohlstandslevel von 2020 bestanden hätte, wieviel Energie wäre dann im Jahr 2000 allein durch diesen Aspekt mehrverbraucht worden?

$$Effizienz_i = \frac{\frac{BIP_n}{P_n}}{\frac{BIP_i}{P_i}} * \frac{E_i}{P_i} \quad (5)$$

Nach der Definition der Variablen können nun Zahlen eingesetzt werden. Die dadurch errechneten Werte sind Tabelle 2 zu entnehmen. In den 20 Jahren zwischen 2000 und 2020 ist die Weltbevölkerung um 1,22 Prozent pro Jahr gewachsen (United Nations, 2022b, 2022c). Der durchschnittliche Wohlstand – gemessen als inflationsbereinigtes BIP pro Kopf – ist in dieser Zeitspanne um 0,47 Prozent jährlich gestiegen (International Monetary Fund, 2022). Das Produkt dieser beiden Anteile liegt bei 1,70 Prozent. Über die Formel 5 wird ein Effizienzwachstum beim Energieverbrauch von jährlich 1,19 Prozent ermittelt.²⁷ Dieser Wert trifft damit in etwa auf Schätzungen zur Steigerung der Produktivität zu, die in Industrienationen in den letzten 20 Jahren etwa auf diesem Niveau lag (vgl. Sachverständigenrat, 2019, S. 100).²⁸ Dadurch ergibt sich für die betrachteten 20 Jahre rechnerisch ein Mehrverbrauch von jährlich 1,50 Prozent ($Verbrauch_{nachher} = \frac{Verbrauch_{vorher} * 1,0122 * 1,0147}{1,0119} = 1,0150 * Verbrauch_{vorher}$). Dieser Wert entspricht auch dem tatsächlichen Wachstum des Verbrauchs (siehe **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**, Zeile »Energiebedarf«).²⁹

Festzuhalten bleibt, dass hier eine Steigerung der Effizienz von jährlich 1,19 Prozent ermittelt wird. Damit einhergehend wird auch eine leicht

²⁷ Hier wird deutlich, dass die so ermittelte Energieeffizienzsteigerung nur der Kehrwert der prozentualen Veränderung der Energieintensität ist.

²⁸ Zum Vergleich: Ohne die Korrektur des Wohlstandswachstums läge die errechnete Effizienzsteigerung nur bei 0,27 Prozent jährlich (siehe Zeile »Energiebedarf pro Kopf«).

²⁹ Die Differenz von 0,01 ergibt sich aus Rundungen.

fallende Energieintensität bestätigt, wie sie bereits oben in der Unternehmensanalyse aufgezeigt wurde.

Variabel	2000	2020	Jährliche Steigerung ³⁰
Globales BIP	34.016,10 Mrd. USD	85.238,62 Mrd. USD	4,70 %
Globales BIP inflationsbereinigt ³¹	50.027,51 Mrd. USD	85.238,62 Mrd. USD	2,70 %
Bevölkerungszahl	6,15 Mrd. Menschen	7,84 Mrd. Menschen	1,22 %
Energiebedarf	112.373 TWh	151.164 TWh	1,49 %
BIP pro Kopf	8.134,56 USD/Mensch	10.872,27 USD/Mensch	1,47 %
Energieverbrauch pro Kopf	18.272,03 kWh/Mensch	19.281,12 kWh/Mensch	0,27 %
Effizienz	24.421,56 kWh/Mensch	19.281,12 kWh/Mensch	1,19 %
Energieintensität	2,25 kWh/USD	1,77 kWh/USD	-1,19 %

Tabelle 2: Variablen im Vergleich, 2000-2020.

Es zeigt sich deutlich, dass die Verbesserung der Effizienz wesentlich geholfen hat, das Wachstum des Gesamtverbrauchs an Ressourcen zu dämpfen. Zum Vergleich: Eine jährliche Steigerung des Ressourcenverbrauchs über 1,50 Prozent hatte hier über 20 Jahre ein Wachstum an verbrauchten Ressourcen von etwa 35 Prozent zur Folge. Hätten über diese 20 Jahre keine

³⁰ $\sqrt[20]{\frac{\text{Wert von 2020}}{\text{Wert von 2000}}}$

³¹ Hier erfolgt die Annahme von durchschnittlich jährlich zwei Prozent Inflation in dem Zeitraum.

Effizienzsteigerungen stattgefunden, würde das Wachstum des Verbrauchs jährlich bei 2,70 Prozent liegen. Über 20 Jahre resultiert daraus eine Steigerung von 70 Prozent, ein doppelt so starkes Wachstum des Ressourcenverbrauchs. Aus dieser Perspektive haben die Effizienzsteigerungen – und die ihr zugrundliegende Automatisierungstechnik – mit hoher Wahrscheinlichkeit bereits wesentlich zu mehr Nachhaltigkeit beigetragen. Ohne sie wäre die Umweltbelastungsgrenze vielleicht schon erreicht worden. Vor diesem Hintergrund kann die technische Entwicklung wahrlich auch als Fortschritt bezeichnet werden, denn sie dient allen zuvor definierten Zielen.

... oder?

Wann haben Sie das letzte Mal etwas konsumiert? Wann etwas produziert? Vermutlich gerade eben erst. Konsum und Produktion finden im Alltag oft eher unbewusst statt. Was uns jedoch immer bewusster wird: Die Art, wie der Mensch produziert und konsumiert, führt zu erheblichen Umweltbelastungen. Es ist kein Zufall, dass die Vereinten Nationen nachhaltigen Konsum und nachhaltige Produktion zu einem ihrer 17 Nachhaltigkeitsziele erklärt haben. Doch wie ist das zu erreichen?

Eine mögliche Antwort lautet: durch Automatisierung. Denn diese führt zu effizienterer Produktion – Ressourcen werden besser genutzt. Allerdings sinken dann auch die Kosten und somit die Preise. Was in der Folge zu mehr Konsum und mehr Produktion führen kann. Jan Michael Goldberg wagt einen Blick in die Zukunft: Er zeigt auf, in welche Richtung uns der »Fortschritt der Technik« führt und unter welchen Bedingungen dieser wirklich nachhaltig ist.

