

Cornelius Markert, Horst Neumann, Marc Amlinger

## **Geschichte und Zukunft der Produktivität: Ende oder Halbzeit eines großen Spiels?**

Einleitung .....	i
Gliederung.....	ii
1. Die aktuellen Produktivitätsdebatten .....	1
2. Zur Geschichte der Produktivität .....	12
3. Automatisierungsgrad, Produktivität und notwendige Arbeitszeit.....	18
4. Empirisch-historische Erfassung des Automatisierungsgrads .....	35
5. Ausblick .....	46
Zusammenfassung.....	48
Literaturverzeichnis.....	54
Anhang .....	58

**ARBEITSPAPIER #3**

Stand: November 2017

## Einleitung

Die Produktivität ist der rote Faden in der Geschichte und Zukunft der Arbeit; sie ist die Basis für die Entwicklung von Wohlstand, guter Arbeit und Lebensgestaltung.

Im Arbeitspapier #2 des IGZA wollen wir die aktuelle Debatte um die stockende Entwicklung der Produktivität in den entwickelten Volkswirtschaften aufgreifen und davon ausgehend den konzeptionellen Rahmen für die weitere Beschäftigung mit diesem Thema am IGZA entwickeln. Es werden Thesen entwickelt und Themenfelder umrissen, die in den nächsten Jahren bearbeitet werden sollen.

Kapitel 1 fasst die wesentlichen Argumentationsstränge der aktuellen Debatte um stagnierende Produktivitätszuwächse in den OECD-Ländern zusammen und erweitert diese um räumliche und zeitliche Dimensionen, ohne die – unserer Meinung nach – die Beantwortung der Titelfrage dieses Papiers nach „Ende oder Halbzeit eines großen Spiels?“ schwer möglich ist.

Ausgehend von dieser Frage werden im 2. Kapitel die Grundzüge der Geschichte der Produktivität dargestellt. Nach Jahrhunderten langsamen Wachstums befinden wir uns aktuell in einer Produktivitätsexplosion auf Basis der Substitution menschlicher Arbeit durch Maschinen, die vor etwa 200 Jahren begann. Doch wird sie auch irgendwann enden? Gibt es überhaupt einen sinnvollen „Grenzwert“ für die Arbeits-Produktivität? Folgt man der Logik der Substitution menschlicher Arbeit als Treiber der Produktivitätsentwicklung, wird irgendwann der Punkt erreicht sein, wo 80 bis 90 Prozent der Arbeit durch Maschinen übernommen werden können. Ist dieser Punkt erreicht, sind die Substitutionspotentiale ausgeschöpft und der jahrhundertelange explosionsartige Anstieg der Arbeits-Produktivität flacht ab. Die Kernfrage ist damit, wo wir heute in dieser historischen Entwicklung stehen und welche bremsenden und limitierenden Faktoren künftig wirken?

Kapitel 3 und 4 gehen näher auf das Verhältnis von Produktivität, Automatisierungsgrad und notwendiger Arbeitszeit ein – konzeptionell und empirisch. Dies ist dann der Startpunkt für weitere historisch-statistische Arbeiten am IGZA.

Über Feedback zum Papier würden wir uns freuen. Bitte senden Sie Ihre Anmerkungen an [markert@igza.org](mailto:markert@igza.org).

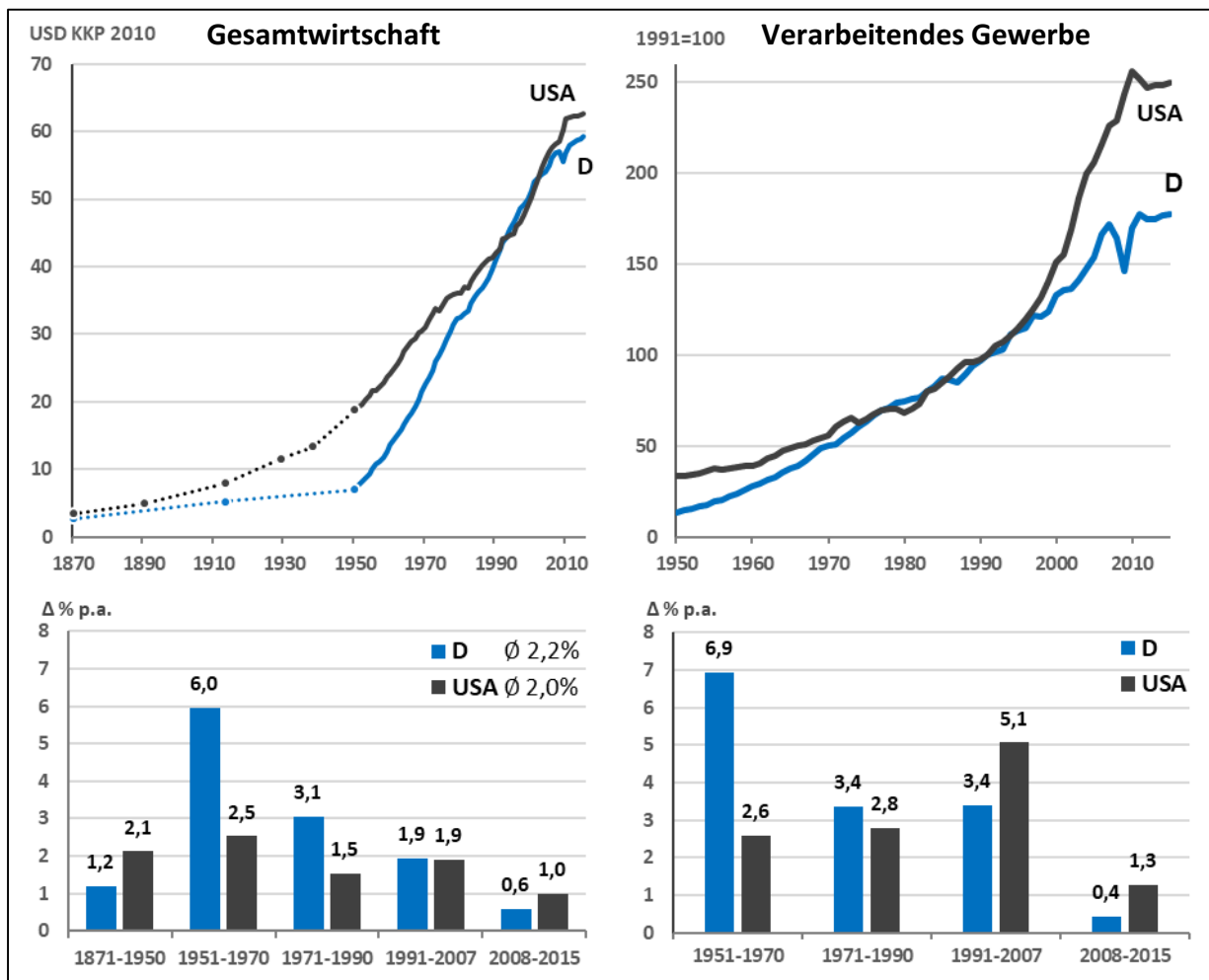
# Gliederung

Einleitung .....	i
Gliederung.....	ii
1. Die aktuellen Produktivitätsdebatten .....	1
1.1 Messprobleme .....	3
1.2 Zeitliche Perspektiven .....	8
2. Zur Geschichte der Produktivität .....	12
3. Automatisierungsgrad, Produktivität und notwendige Arbeitszeit.....	18
3.1 Zum Begriff des Automatisierungsgrads .....	18
3.2 Grenzwerte .....	23
4. Empirisch-historische Erfassung des Automatisierungsgrads .....	35
4.1 Skalierung.....	35
4.2. Ebene der Analyse.....	41
4.3 Analyseansätze des IGZA.....	42
5. Ausblick .....	46
Zusammenfassung.....	48
Literaturverzeichnis.....	54
Anhang .....	58
Anhang 1: Absolutes und relatives Wachstum .....	58
Anhang 2: Wachstumsraten und Wachstumsgeschwindigkeiten.....	60
Anhang 3: Die Multifaktorproduktivität (Total Factor Productivity).....	61

# 1. Die aktuellen Produktivitätsdebatten

Am Beginn des 21. Jahrhunderts gibt es in den meisten kapitalistisch hoch entwickelten Ländern nur noch sehr niedrige Wachstumsraten der gesamtwirtschaftlichen Produktivität. Seit der Finanzkrise 2008 liegen die jährlichen Zuwächse nur knapp über Null, im Vergleich zu durchschnittlich 2 Prozent im langfristigen Trend der letzten 150 Jahre.

**Grafik 1: Bruttowertschöpfung je Arbeitsstunde, Gesamtwirtschaft und verarbeitendes Gewerbe, USA und D**



Quellen: 1970-2015: OECD Database; 1950-1969: basierend auf Wachstumsraten ausgewiesen durch The Conference Board Total Economy Database™; vor 1950: Maddison (2006) The World Economy - A Millennial Perspective, S.347/350. Statistisches Bundesamt, Bureau of Economic Analysis & Bureau of Labor Studies. Deutschland vor 1991/ USA vor 1987 The Conference Board ILC Productivity Database.

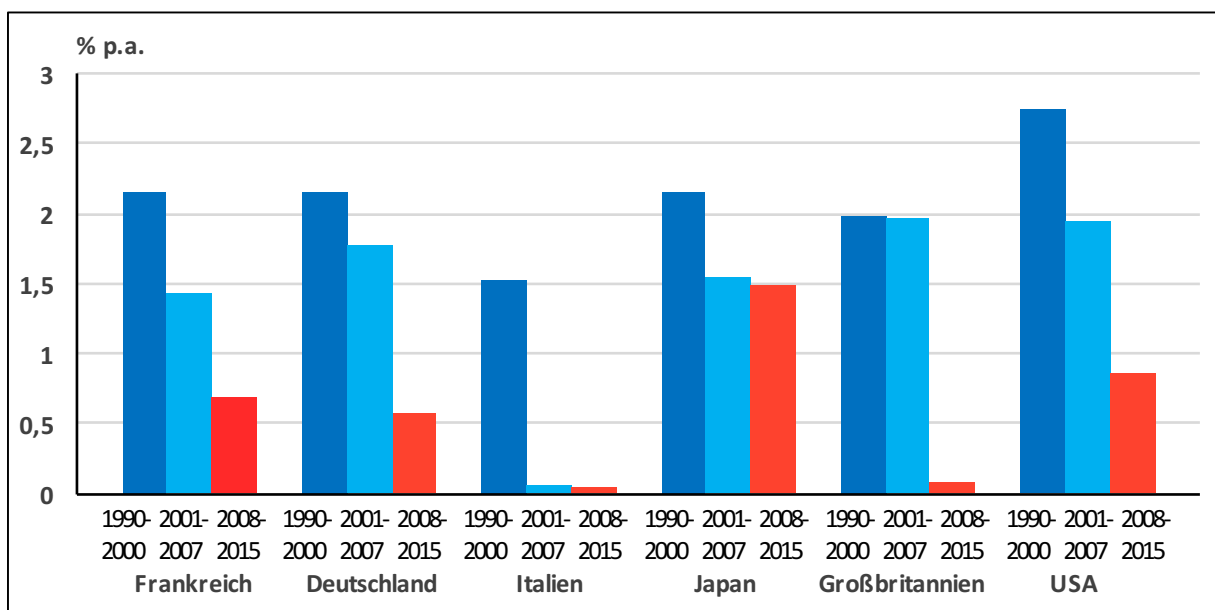
Nehmen wir Deutschland und die USA als Beispiel. In beiden Ländern fand dank der technisch-wissenschaftlichen Revolution ein enormer Anstieg der Produktivität statt. Zwischen 1870 und 2015 erhöhte sich die Arbeitsproduktivität, hier gemessen als reales BIP je Arbeitsstunde, in den USA von 3,50 auf 63 US-Dollar (Basisjahr 2010), das entspricht

einem jährlichen Wachstum von durchschnittlich 2%; in Deutschland in der gleichen Zeit von 2,70 auf 59 in US-Dollar (2010), was einem jährlichen Wachstum von durchschnittlich 2,2% entspricht.

Grafik 1 zeigt auch, wie sich die Entwicklung der Bruttowertschöpfung je Arbeitsstunde sowohl in der Gesamtwirtschaft als auch im verarbeitenden Gewerbe der USA und Deutschlands in den letzten 10 Jahren verlangsamt hat bzw. stagniert.

Auch in anderen entwickelten Volkswirtschaften wie Frankreich, Italien, Japan und Großbritannien ist eine Abflachung der jährlichen Produktivitätszuwächse im Vergleich zu den Jahren vor der Krise und zu den 1990er Jahren zu beobachten (Grafik 2).

**Grafik 2: Wachstum der Arbeitsproduktivität entwickelter Länder**



Daten: OECD Productivity Statistics (database), total economy, GDP per hour worked, percentage change at annual rate.

**Die Verlangsamung des Produktivitätswachstums in den OECD-Ländern hat in der Fach-Ökonomie und darüber hinaus zu einer intensiven Debatte über die Ursachen und Aussichten der Produktivitätsentwicklung geführt.**

Auch nach 10 Jahren sind die Analysen und Prognosen nach wie vor kontrovers, lassen sich jedoch grob in zwei Hauptstränge unterteilen:

- Zum einen in einen eher statistisch-methodischen Strang, der sich um **Probleme der Messung von Produktivität** dreht. Erfassen unsere typischen Produktivitätsmaße wie das Bruttoinlandsprodukt je Arbeitsstunde die tatsächliche Entwicklung

der Produktivität auch im 21. Jahrhundert? Welche Rolle spielt die Qualitäts- und Preisermittlung? Welche Rolle die Informations- und Kommunikationstechnik und die Digitalisierung?

- Zum anderen gibt es einen Diskussionsstrang, der die **zeitliche Dimension** und Interpretation der aktuellen Abflachung stärker in den Fokus rückt. Das Spektrum der Debatte ist breit: Handelt es sich um eine zyklische Delle, wie sie auch in der Vergangenheit bereits zu beobachten war? Oder handelt es sich um einen langfristigen Trendbruch, der nur durch vermehrte Anstrengungen überwindbar ist? Oder ist die aktuelle Abflachung der Produktivität der Ausdruck einer langfristigen, säkularen Stagnation oder strukturellen Überakkumulation?

## 1.1 Messprobleme

Vor allem in den USA besteht eine breite Kontroverse um „Messfehler“ der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung, die dazu führten, dass das tatsächliche Wachstum – und damit die Produktivität – dramatisch unterschätzt würden, da Fortschritte der digitalen Ökonomie nicht erfasst seien (Vgl. Saam 2017, Hartwig/Krämer 2017, Syverson 2016, Ahmad / Schreyer 2016, Bryne et al. 2016, Aeppel 2015, Hatzius / Dawsey 2015). Die Debatte zielt auf einige grundlegende Probleme und Definitionen der Messung und Erfassung der Produktivität.

Allgemein ist Produktivität das Verhältnis von Output zu Input:

$$\text{Produktivität} = \frac{\text{Output}}{\text{Input}}$$

Konkreter, als Faktor-Produktivität ist sie das Verhältnis der Inputs Arbeit, Kapital, Ressourcen und Energie im Verhältnis zur Gütermenge, der im Produktionsprozess erstellten Waren und Dienstleistungen.

Für die Arbeitsproduktivität<sup>1</sup> bedeutet das:

$$\text{Produktivität} = \frac{\text{Produktionsmenge}}{\text{Arbeitsstunden}}$$

Für ein **einzelnes Produkt** ist diese Relation einfach zu erfassen. Die produzierte Menge wird in ihrer jeweiligen technischen Einheit, z.B. 5.000 Nadeln oder 40 t Stahl gleicher

---

<sup>1</sup> Zur „Multifaktorproduktivität“ vgl. Anhang 3.

Qualität, durch die Summe der tatsächlich geleisteten Stunden aller direkt und indirekt am Produktionsprozess beteiligten Arbeitskräfte geteilt. So weit, so gut.

Allerdings gibt es eine Reihe methodischer, empirischer und grundsätzlicher Probleme bei der Produktivitätsermittlung, die im Folgenden dargestellt werden:

1. Die erste Schwierigkeit ergibt sich bei der **Aggregation** unterschiedlicher Produkte zu einer aggregierten Produktionsmenge, z.B. Stahl, T-Shirts und Federbetten. Eine annähernde Methode ist der Rückgriff auf die Produktionswerte, der mit Preisen bewerteten Mengen eines Betriebs oder Unternehmens, einer Branche oder Nation in einem bestimmten Zeitraum (Tag, Monat, Jahr). Diese mit Marktpreisen bewerteten Produktionswerte abzüglich der Vorleistungen, als unternehmensübergreifende Brutto-Wertschöpfung oder als nationales Brutto-Inlandsprodukt, ergibt ein quasi homogenes Gesamtprodukt, welches mit den geleisteten Arbeitsstunden im Produktionsprozess ins Verhältnis gesetzt wird.

$$\text{Produktivität} = \frac{\text{Bruttoinlandsprodukt}}{\text{Arbeitsstunden}}$$

2. Ein besonderer Aufwand ist notwendig im Produktivitätsvergleich zwischen Nationen. Für **internationale Vergleiche** müssen die nationalen Währungen in Relation gesetzt werden. Die Wechselkurse bilden sich faktisch im internationalen Handel und geben die Preisrelation der gehandelten Güter der beteiligten Nationen wieder. Die *gehandelten* Güter entsprechen aber nicht der *gesamten* Güterstruktur beider Länder. Wenn deren Preise verglichen werden sollen, muss ein gleicher Warenkorb mit Preisen aus beiden Ländern ermittelt werden. So lassen sich Kaufkraftparitäten errechnen und mit ihrer Hilfe die jeweiligen nationalen Produktivitäten in eine einheitliche Währung umrechnen.
3. Schwierigere methodische und empirische Probleme ergeben sich durch Preis- und Produktänderungen im **Zeitverlauf**.

Das allgemeine Preisniveau und die Preise der Waren und Dienstleistungen sind nicht stabil. Um diesen Inflationseffekt, von dem die Güter unterschiedlich stark betroffen sein können, auszuschalten, werden die verschiedenen nominalen Jahreswerte mit Hilfe von Branchen- bzw. nationalen BIP-Preisindices korrigiert.

Ein erstes Problem bei der Ermittlung dieser realen Preise ist die Festlegung eines angemessenen **Basisjahres**. Das Basisjahr definiert die zur Preisermittlung verwendete

Güterstruktur. Daher unterscheiden sich die errechneten realen Preise je nach Wahl des Basisjahres.<sup>2</sup>

Ein zweites Problem bei der Ermittlung der Preisentwicklung sind Veränderungen der **Qualität** der einzelnen Produkte. Um Mengen im Zeitverlauf vergleichen zu können, müsste die Qualität der jeweiligen Produkte konstant gehalten werden. Durch technischen Fortschritt im Produkt oder Verbesserungen im Produktionsprozess ändert sich jedoch die Qualität vieler Produkte – z.B. Käfer von 1960 zu Golf 2016 oder vom Handy 1990 zum Smartphone 2016. Zudem kommen neue Produkte hinzu und alte Produkte verschwinden.<sup>3</sup>

Die amtliche Statistik versucht, diese Funktions- und Qualitätssprünge in den Preisstatistiken zu berücksichtigen. Dass dies nur annähernd gelingen kann, ist evident. Steigt die Qualität und wird dies nicht angemessen im Preis berücksichtigt, unterschätzt das BIP die tatsächliche Entwicklung. Auch der Zeitpunkt der Aufnahme neuer Produkte in die Preisindices ist entscheidend, da die Preise in den ersten Jahren üblicherweise stark fallen. Bei (zu) später Aufnahme wird der qualitative Fortschritt der neuen gegenüber den alten Produkten quantitativ nicht vollständig erfasst. Gordon (2015) und Hausmann (1999) zeigen beispielsweise, dass sich Videokassetten, tragbare Telefone und andere Produkte zum Teil erst nach 10 Jahren in die Preisindices aufgenommen wurden, als deren Preis bereits um 80% gefallen war.

Der Boskin-Report (1996) schätzt, dass das ermittelte reale BIP das tatsächliche Wachstum und damit die Produktivitätsentwicklung in den USA zum Zeitpunkt der Studie aufgrund der Schwierigkeiten Qualitätsfortschritte zu fassen, um 0,6 Prozentpunkte p.a. unterschätzt.<sup>4</sup>

---

<sup>2</sup> Dies erklärt beispielsweise, warum einige afrikanische Länder noch das Jahr 1968 als Referenz für die Berechnung des realen BIP heute verwenden (vgl. Coyle 2014). Dies ist politisch motiviert, da Verwendung des alten Warenkorbs deren reales BIP massiv unterschätzt. Rice (2013) schätzt, dass z.B. das reale BIP Nigerias aufgrund des alten Warenkorbs um 40% unterschätzt ist.

<sup>3</sup> Ahmad / Schreyer (2016) argumentieren sehr grundsätzlich, dass die methodische Herausforderung mit sinkenden Losgrößen und steigender Customisierung der Produkte durch Digitalisierung und Industrie 4.0 weiter zu nimmt, da die Güter – Waren wie Dienstleistungen gleichermaßen – spezieller und einzigartiger werden, sodass Preisvergleiche, die Qualitätsunterschiede kontrollieren wollen, komplexer werden.

<sup>4</sup> Neben den qualitätsbedingten Abweichungen wurden weitere verzerrende Faktoren untersucht (upper level / lower level und outlet substitution). In Summe kommt die Kommission zu dem Schluss, dass die Preisindices um 1,1 Prozentpunkte (plausible Range: 0,8 bis 1,6 PP) verfälscht sind und die Inflation somit zu hoch eingeschätzt wurde.



Nordhaus (2016) illustriert das Problem anhand des Beispiels von Leuchtmitteln:

*We can begin with the price-index problem. For this, I take an example familiar to most people, lighting. If you were to examine the US economic accounts, you would not find a component that measures the price of lighting or the real output of lighting. Instead, you would find elements such as the price of fuel (whale oil or electricity) and the price of lighting devices (oil lamps or lightbulbs). For each of these prices, we today have carefully designed techniques for collecting prices and spending. So, you might think, by combining correctly the prices of the lighting devices and the fuels (the input prices), we might accurately track the price of producing a certain amount of light (the output price).*

*Or so we thought until the actual estimates were made. It turns out for lighting that the output price fell much more sharply than the input prices. We can take the example of standard incandescent lightbulbs and LED bulbs to illustrate. Assume that we need 800 lumens to light a space (a candle produces about thirteen lumens). Suppose that we light the space for 50,000 hours. This would require about 50 incandescent bulbs and 60 watts x 50,000 hours or 3,000 kilowatt-hours (kwh) of electricity. At the current US average electricity price of ten cents per kwh, the cost of incandescent lighting over the period would be about \$350 (\$50 for the bulbs and \$300 for the electricity). Now assume that a new technology, LED bulbs, becomes available. You can get the same illumination with one \$5 six-watt LED bulb lasting 50,000 hours. When you calculate the life-cycle costs, the 800 lumens x 50,000 hours cost only \$35 (\$5 for the bulb + \$30 for the electricity).*

*So the price of lighting declined by 90 percent. And—the critical point for Gordon's story—with the introduction of LED bulbs, every \$100 of expenditures on lighting produced ten times the real output.*

Aktuell bezieht sich die Debatte um ungemessene Wachstumssteigerungen als Erklärung für die niedrigen Zuwachsraten der Produktivität vor allem auf die Informationstechnologie und die digitale Ökonomie. Jedoch weisen die vorliegenden wissenschaftlichen Studien nicht auf besonders große ungemessene Wachstumssteigerungen hin. Byrne et al. (2016) nehmen eine Reihe von Anpassungen an die üblicherweise verwendeten Methoden der Produktivitätsmessung und Preiskorrekturen bei IKT-Kapital vor. Für die USA zeigt sich dabei, dass die Arbeitsproduktivität unterschätzt wurde. Unter Berücksichtigung von alternativen Preisanpassungen insbesondere des IKT-Kapitals liegt die Produktivität der USA in den letzten beiden Dekaden tatsächlich um circa 0,3

bis 0,5 Prozentpunkte höher. Allerdings ist dieser Effekt in der Periode von 1995-2004, also in der Zeit besonders hoher Produktivitätszuwächse, höher als in der Periode ab 2005, in der es zu einer deutlichen Verlangsamung des Produktivitätsanstiegs kam. Nach der Korrektur um mögliche Messfehler ist die Verlangsamung des Produktivitätsanstiegs also sogar noch stärker ausgeprägt.

Insgesamt sind die Effekte durch Messfehler bei IKT-Gütern nicht groß genug, um den Rückgang des Produktivitätswachstums zu erklären, so dass ihnen keine große Bedeutung für das Produktivitätsparadoxon zugesprochen wird (vgl. Byrne et al. 2016; Saam 2017; Hartwig/Krämer 2017).

Gordon (2016, S.528) weist außerdem zu Recht darauf hin, dass es in der Vergangenheit bei den großen Innovationen des 20. Jahrhunderts, wie z.B. der Elektrizität, ebenfalls zu nicht gemessenen Wohlfahrts- und Produktivitätsgewinnen kam. Ginge man davon aus, dass der Wachstumsbeitrag der IKT höher ist als gemessen, müsste man auch in der Vergangenheit von höheren Wachstumsraten ausgehen. In der Gesamtbeurteilung würde sich also wenig ändern (vgl. Hartwig/Krämer 2017, S.100-101).

Die diskutierten Probleme der Erfassung und Messung der Produktivität stellen die VGR vor methodische Probleme, die – mit einem nicht geringen empirisch-statistischen Aufwand und sorgfältiger Interpretation in Kenntnis und Bewusstsein von Fehlerwahrscheinlichkeiten – weitgehend lösbar erscheinen.

Grundsätzlichere Einschränkungen ergeben sich, wenn das **BIP als Maß für Fortschritt und Wohlstand** genutzt werden soll.

Das BIP ist ein **Maß der Marktwertschöpfung** und als solches rein auf das Marktgeschehen gerichtet. Es umfasst folglich nur Waren und Dienstleistungen, die für den Markt erstellt und nach Marktpreisen bewertet werden. Im BIP tauchen daher Arbeiten nicht auf, die nicht auf den Markt ausgerichtet sind, z.B. Arbeit im eigenen Haushalt, zur Kindererziehung und ehrenamtliche Tätigkeiten.

Darüber hinaus sind im BIP keine negativen **Externalitäten** wie Schädigungen der Umwelt und Vermögensverluste, beispielsweise durch Naturkatastrophen enthalten. Hingegen erhöhen die Maßnahmen zur Beseitigung vorangegangener Schäden durch Naturkatastrophen oder Umweltsünden das BIP.<sup>5</sup>

---

<sup>5</sup> Nordhaus (2016) schätzt die Externalitäten durch CO<sub>2</sub>-Ausstoß allein in den USA im Jahr 2015 auf 195 Mrd. Dollar (5.270 Tonnen x 37 \$/t, was ca. 1% der gesamten Wirtschaftsleistung in dem Jahr entspricht.

Das Bruttoinlandsprodukt allein erlaubt demnach auch keine Aussagen über das individuelle Glück, die allgemeine Lebensqualität, den Zustand der sozialen Sicherungssysteme, die Einkommens- und Vermögensverteilung, Kinderarbeit, Gerechtigkeit oder den sozialen Frieden in einer Volkswirtschaft.<sup>6</sup>

**Trotz dieser Einschränkungen sind das BIP/Arbeitsstunde bzw. BIP/Kopf zentrale ökonomische Kenngrößen zur annähernden Bestimmung der Produktivität und ein unersetzlicher Indikator für die Entwicklung und den Entwicklungsstand der Wirtschaftskraft und des gesellschaftlichen Reichtums.** Zum einen zeigen die vorliegenden Analysen, dass die Abflachung der Produktivität nicht allein durch Messfehler der digitalen Ökonomie erklärt werden und die ermittelten Messfehler zudem im Bereich der auch historisch zu beobachtenden Fehlertoleranzen liegen. Zum anderen umfasst das BIP zentrale Bereiche der Wirtschaft und damit der Wohlstandsentwicklung. Als auf das Marktgeschehen ausgerichtete Größe ist es zwar nur ein begrenztes Wohlstandsmaß, dennoch wird ein Großteil der gesellschaftlichen Arbeit und ihrer Produkte erfasst.

## 1.2 Zeitliche Perspektiven

Der zweite Strang der Debatte dreht sich um die zeitliche Dimension des abgeschwächten Produktivitätswachstums: Handelt es sich um eine „zyklische Delle“, eine längerfristige Abflachung oder den Beginn einer säkularen Stagnation?

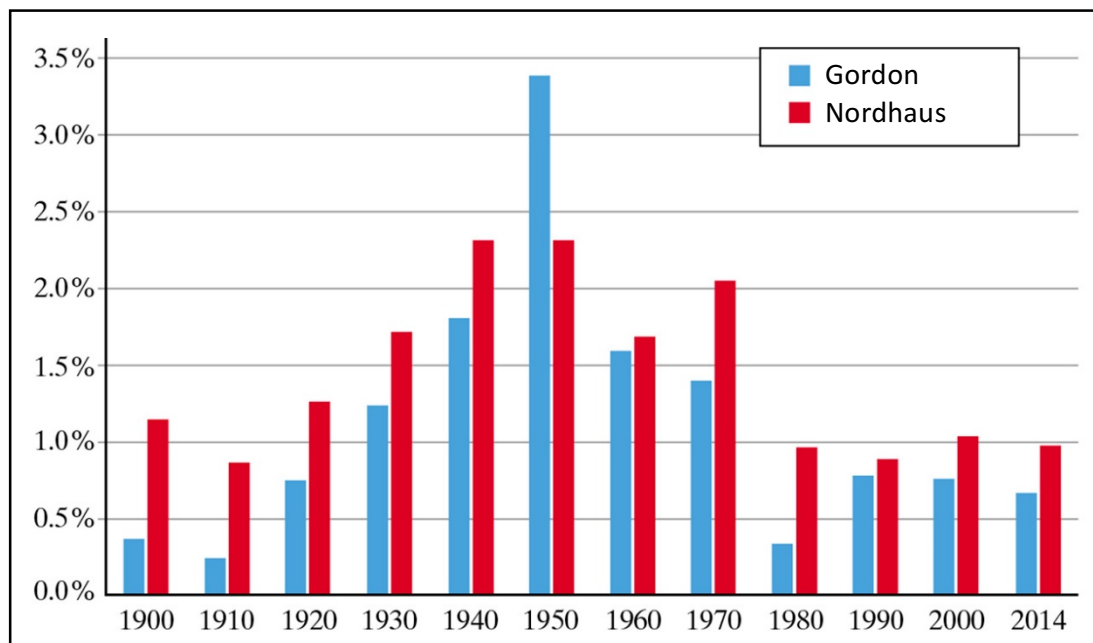
Bryne et al. (2013) gehören zu den Vertretern einer relativ optimistischen Sichtweise. Sie interpretieren das geringe Wachstum als „zyklische“ Folge der überdurchschnittlichen Produktivitätsgewinne durch Lean Production und Informationstechnologie in den 1990er Jahren in den USA. Syverson (2013) und van Ark (2016) betonen, dass die *general purpose technologies* Elektro- und Verbrennungsmotor zu wellenartigen Schüben des Produktivitätswachstums geführt haben und die zweite Produktivitätswelle der Informationstechnologie noch bevorstehe. Die aktuell zu beobachtende Produktivitätsabflachung wäre somit Teil einer „zyklischen Delle“, da sich die neuen digitalen Technologien erst in der Anlaufphase befinden, sodass bald ein, quasi „natürlicher“, Anstieg der Produktivität zu erwarten ist.

---

<sup>6</sup> Verschiedentlich wurde daher versucht, andere Dimensionen in das BIP zu integrieren oder es durch weitere Kennzahlen zu ergänzen. Beispiele für einen erweiterten Indikator wären der *Human Development Index* der Vereinten Nationen, der *Genuine Progress Indicator*, der *Happy Planet Index* oder der *Social Progress Index* und für ein Kennzahlensystem das *Magische Viereck*, welches unter den vier Hauptdimensionen Materieller Wohlstand, Nachhaltigkeit der Staatsfinanzen und der Staatstätigkeit, Soziale Nachhaltigkeit und Ökologische Nachhaltigkeit, eine ganze Reihe von verschiedenen Kennzahlen umfasst (Vgl. Dullien & Van Treeck 2012).

Ein Vertreter der These eines langfristigen Trendbruchs und des Beginns einer säkularen Stagnation ist Robert J. Gordon, der für die USA den Höhepunkt der Auswirkungen der industriellen und digitalen Revolution auf Produktivität und Wachstum in den 1990er Jahren sieht – und die Innovationswelle durch Digitalisierung viel flacher bewertet als die grundlegende Umwälzung von Konsum, Lebensalltag und Produktion im Zuge der Industrialisierung von 1870 bis 1970. Zur relativ schwachen Innovationskraft der Digitalisierung treten nach Gordon seit Beginn des 21. Jahrhunderts gravierende Bremskräfte hinzu, wie die Folgen einer immer ungleicheren Einkommens- und Vermögensverteilung, die Schwächen des Bildungssystems, eine steigende Staatsverschuldung und eine alternde Bevölkerung (Gordon 2015).<sup>7</sup>

**Grafik 3: Wachstum der Multifaktorproduktivität bei Gordon und Nordhaus**



Quelle: Nordhaus (2016). Average annual growth rates in TFP by decade (decade ending in year).

Auch Nordhaus relativiert die Gordon'sche These, indem er dessen Zahlen zur Produktivitätsentwicklung hinterfragt und auf Basis einer Revision ein generelles Abflachen der Wachstumsraten eher nach 1970 sieht und damit die These all derer stärkt, die in den 70er Jahren des 20. Jahrhunderts ein Auslaufen des Kriegs- und Nachkriegsbooms oder grundlegender ein Ende der Fordistischen Produktions- und Konsumptionsweise oder den Beginn einer strukturellen Überakkumulation des Kapitals sehen.

<sup>7</sup> Gordon ist ein Vertreter angebotsseitigen Argumentation während Summers (2014) und Krugman (2014) die Gründe für eine säkulare Stagnation in Problemen auf der Nachfrageseite sehen. / Vgl. Herzog-Stein et al. (2017) für eine Diskussion der Gordon'schen Thesen in Deutschland.

Nordhaus (2016, S. 2): *“Productivity growth slowed sharply after 1970, with little variability from decade to decade. The slowdown has been puzzling scholars for four decades. My own view is that it is a decline from one thousand cuts. Important ones are rising energy prices, growing regulatory burdens, a structural shift from high- to low-productivity growth sectors (such as from manufacturing to services), as well as the source that Gordon emphasizes, the decline of fundamentally important inventions. So Gordon’s basic hypothesis looks rock solid: there has been a substantial slowdown in productivity growth since the end of the special century in 1970.”*

Weniger pessimistisch sieht der Wirtschaftshistoriker Joel Mokyr die in Aussicht stehenden Innovationskräfte, wie z.B. in der Nano-Technik, der Bio-Chemie und Genetik, der künstlichen Intelligenz (KI), des größeren internationalen Wettbewerbs und der schnellen Kommunikation von Forschungsergebnissen und ihrer Umsetzung in neuen Gütern und allgemein der größeren Zahl der weltweiten Forscher (Mokyr 2014). Er widerspricht Gordon ausdrücklich und gehört mit dieser Sichtweise eher zu den ‚Techno-Optimisten‘, die in der Verbreitung neuer Technologien und der Investition in wissensbasiertes Kapital den Treiber für das zukünftige Produktivitätswachstum in den entwickelten Ländern sehen.

Dies umfasst insbesondere Anstrengungen im Bereich Forschung- und Entwicklung, in der Datenanalyse („Big Data“), aber auch organisatorische Veränderungen im Zuge des Einsatzes neuer Technologien. Weitere prominente Vertreter dieser Sichtweise sind Brynjolfsson und McAfee, die in ihrem 2014 erschienen Buch zum „Second Machine Age“ (Brynjolfsson/McAfee 2014) Potenziale der digitalen Revolution betonen, aber gleichzeitig auch darauf hinweisen, dass die Realisierung dieser Potentiale Anstrengungen von Politik, Wirtschaft und Gesellschaft erfordern.

Die neuen Technologien der Digitalisierung haben dazu geführt, dass die Debatte um Rationalisierungspotentiale unterschiedlicher Wirtschaftssektoren, insbesondere im Vergleich von Dienstleistungen und produzierendem Gewerbe („baumolsche Kostenkrankheit“), neu entbrannt ist (Baumol/Bowen 1966; Baumol 2012). Bereits Fourastié (1954) weist darauf hin, dass eine sektorale Verschiebung weg von der hochproduktiven Landwirtschaft und Industrie hin zu „rationalisierungsresistenten“ Dienstleistungen in eine Stagnation münden müsse. Inwiefern dies aber heute noch gilt ist fraglich (Krämer 2015). Denn zum einen konnte gezeigt werden, dass gerade unternehmensbezogene Dienstleistungen selbst dann einen positiven Einfluss auf die gesamtwirtschaftliche Produktivitätswachstumentwicklung haben, wenn ihr Produktivitätswachstum unterhalb der des Industriesektors liegt (Oulton 2001). Zum anderen werden mit der digitalen Revolution Potentiale im „tertiären Sektor“ erschlossen, in denen vor 70 Jahren eine Automatisierung noch nicht denkbar waren.

## Zwischenfazit

**Das Zwischenfazit dieser mittlerweile mehr als 10-jährigen Debatte um die Produktivitätsentwicklung ist ernüchternd. Die Analysen bleiben theoretisch kontrovers und empirisch unbefriedigend. Es ist bis heute nicht gelungen, die für das Langzeitwachstum relevanten Faktoren, allen voran den technischen Fortschritt, empirisch zu bestimmen und einen Konsens über die wichtigsten bremsenden und treibenden Faktoren des Produktivitätswachstums und ihrer jeweiligen Größenordnung herzustellen.**

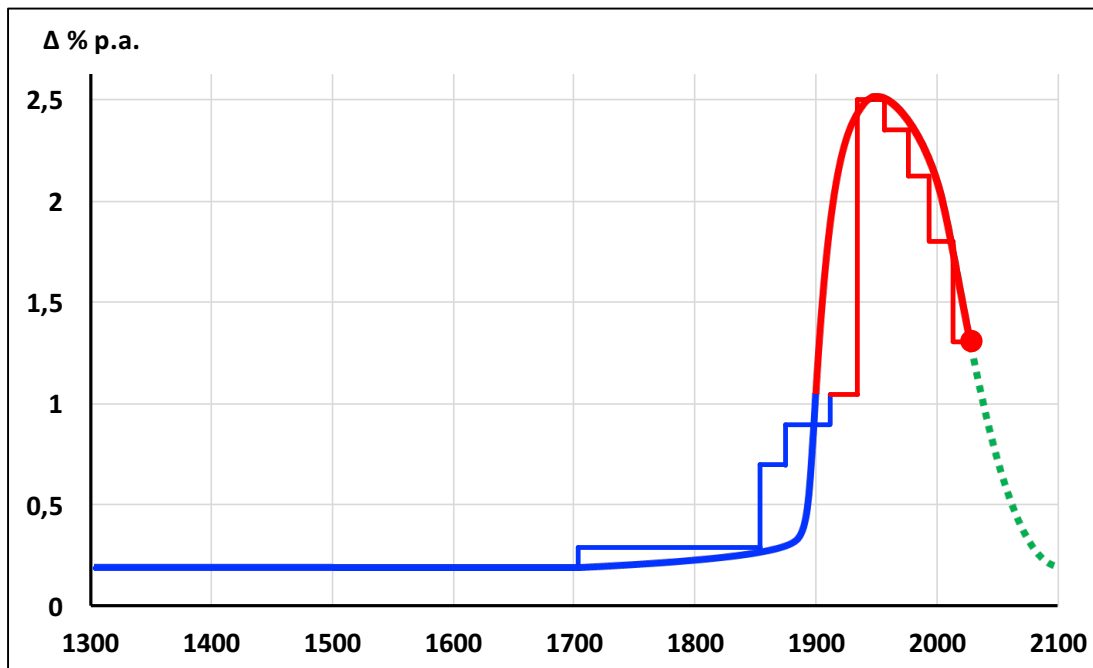
Die Frage nach der Zukunft der Produktivitätsentwicklung sind unserer Auffassung nach in den engen Zeitfenstern der bisherigen Debatte auch nicht zu lösen.

Wir sind der Ansicht, dass die Produktivitätsdebatte und -kontroverse letztlich nur zu entscheiden ist, wenn eine historische Perspektive der Entwicklung von Arbeit und Produktivität eingenommen wird (und darüber hinaus die Fokussierung auf die OECD-Länder aufgegeben wird).

## 2. Zur Geschichte der Produktivität

Gordon hat – entgegen seinem Hauptwerk von 2015 und im wohlthuenden Unterschied zu vielen Diskutanten der Produktivitätsdebatte – in einem Aufsatz von 2013 im Anschluss an Maddison eine globale-historische Perspektive skizziert (Gordon 2013, S.6) und in der Logik einer Grenzwert-Betrachtung dargestellt:

**Grafik 4: Reales BIP pro Kopf, Wachstumsraten**



Blau: UK, rot: USA, grün: Fortschreibung von Gordon; „eckiger“ Verlauf: tatsächliche Werte, „glatter“ Verlauf: Regression, Quelle: Gordon (2013), S.6.

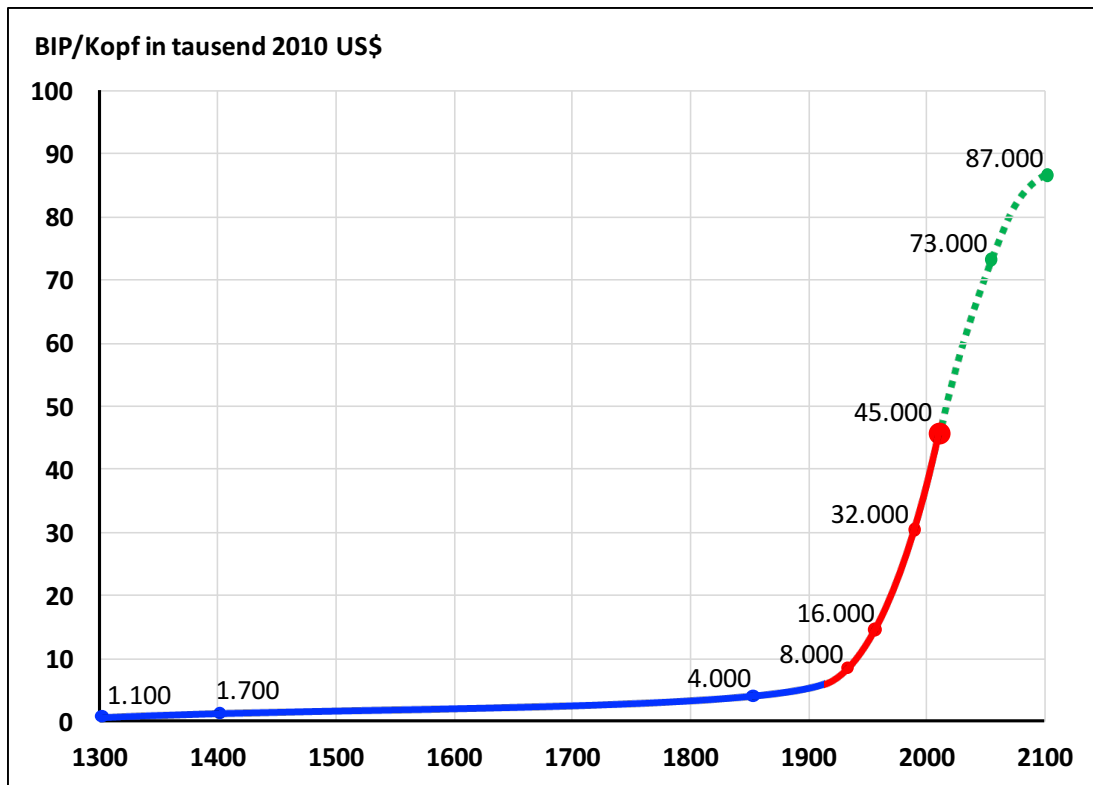
Gordon zeichnet die historische Produktivitätsentwicklung von 1300 bis 2100 anhand der **jährlichen Wachstumsraten des realen Bruttoinlandsprodukts pro Kopf** in der jeweils global führenden Wirtschaftsnation nach (Grafik 4). Für die Zeit ab 1300 bis hinein ins frühe 20. Jahrhundert war dies Großbritannien (blauer Teil der Kurve: UK) und seitdem sind es die Vereinigten Staaten (roter Teil der Kurve: USA). Diese Zahlen schreibt Gordon für die Zukunft bis ins Jahr 2100 fort (grüner Teil der Kurve).

Bis ins 19. Jahrhundert wuchs die Produktivität auf einem niedrigen Niveau von ca. 0,2% p.a. Mit Beginn der industriellen und der folgenden digitalen Revolution stieg das Produktivitätswachstum rasant an und erreichte Mitte des 20. Jahrhunderts bei etwa 2,5% p.a. einen Höhepunkt. Die seit den 1970er Jahren sinkenden Zuwachsraten in den USA sieht Gordon als Vorboten des Auslaufens der industriellen und digitalen Revolution. Deren wissenschaftlich-technischen Fortschritte beschreibt er als welthistorisch einmaligen

und nicht wiederholbaren Vorgang, weshalb er für seine Fortschreibung der Produktivitätsentwicklung in die Zukunft einen glockenförmigen, hypothetischen Verlauf der jährlichen Zuwachsraten unterstellt. Seine Glockenkurve nähert sich gegen Ende des Jahrhunderts wieder dem vor-industriellen Wachstumsniveau von ca. 0,2% p.a. an.

Für das Produktivitäts-Niveau ergibt sich daraus folgendes Bild:

**Grafik 5: Reales BIP pro Kopf, absolute Werte**



Blau: UK, rot: USA, grün: Fortschreibung von Gordon. Quelle: Gordon (2013), S.6.

Bis zur Mitte des 19. Jahrhunderts stieg das BIP/Kopf in Großbritannien langsam an, von 1.100 US-\$ im Jahr 1300 auf etwa 4.000 US-\$ um 1850. Seitdem ist das Niveau nahezu exponentiell gewachsen und lag 2010 in den USA bei etwa 45.000 US-\$. In der Fortschreibung der Zahlen bis 2100 flacht die Kurve, aufgrund der Glockenform der Wachstumsraten, nach und nach ab und geht ab dann langfristig wieder zu einem langsameren Wachstum über.

Damit gibt Gordon – nebenbei – auch schon eine klare, einfache Positionierung: Wir stehen heute ziemlich genau in der Mitte dieser historisch einmaligen Produktivitätsexplosion.



Wir schließen uns im Prinzip der Gordon'schen Darstellung an und skizzieren zunächst die historische Produktivitätsentwicklung aus unserer Sicht.

Über die Zeitalter ergibt sich ein relativ einfaches, charakteristisches Bild: Die historische Entwicklung der Produktivität bis heute besteht aus zwei extrem unterschiedlichen Phasen. Erstens einem sehr langsamen Anstieg über die Jahrtausende, zweitens einer Explosion ab dem Beginn der technisch-wissenschaftlichen Revolution um 1800.

In der Altsteinzeit war die „Produktivität“ über Jahrhunderttausende gering. Arbeit im heutigen Sinne gab es noch nicht, die Tätigkeiten sind vielfältig und nicht streng in reproduktionsbezogene Arbeit und Nicht-Arbeit unterschieden. „Arbeit“ ist eingebettet in das Leben und Treiben der Gruppen und Clans. In der Zeit der Jäger und Sammler war die „Produktivität“ niedrig, „Arbeit“ bestand aus dem Aufnehmen der Subsistenzmittel aus der vorgefundenen Natur und eher niedrigen Stufe der Weiterverarbeitung von Nahrung, Kleidung und Behausung bei entsprechend den Naturbedingungen schwankender „Arbeitszeit“.

Der Übergang zur Sesshaftigkeit markiert den Beginn einer ersten langen, langsamen Produktivitätssteigerung, die sich bis zum Beginn der technisch-wissenschaftlichen Revolution fortsetzt. Den frühen Agrikulturgesellschaften gelang die Steigerung der landwirtschaftlichen Produktivität – zunächst unterstützt durch günstige klimatische Umstände, später ermöglicht und erzwungen durch technische Verbesserungen, längere Arbeitszeit und erste Formen differenzierterer Arbeitsteilung.

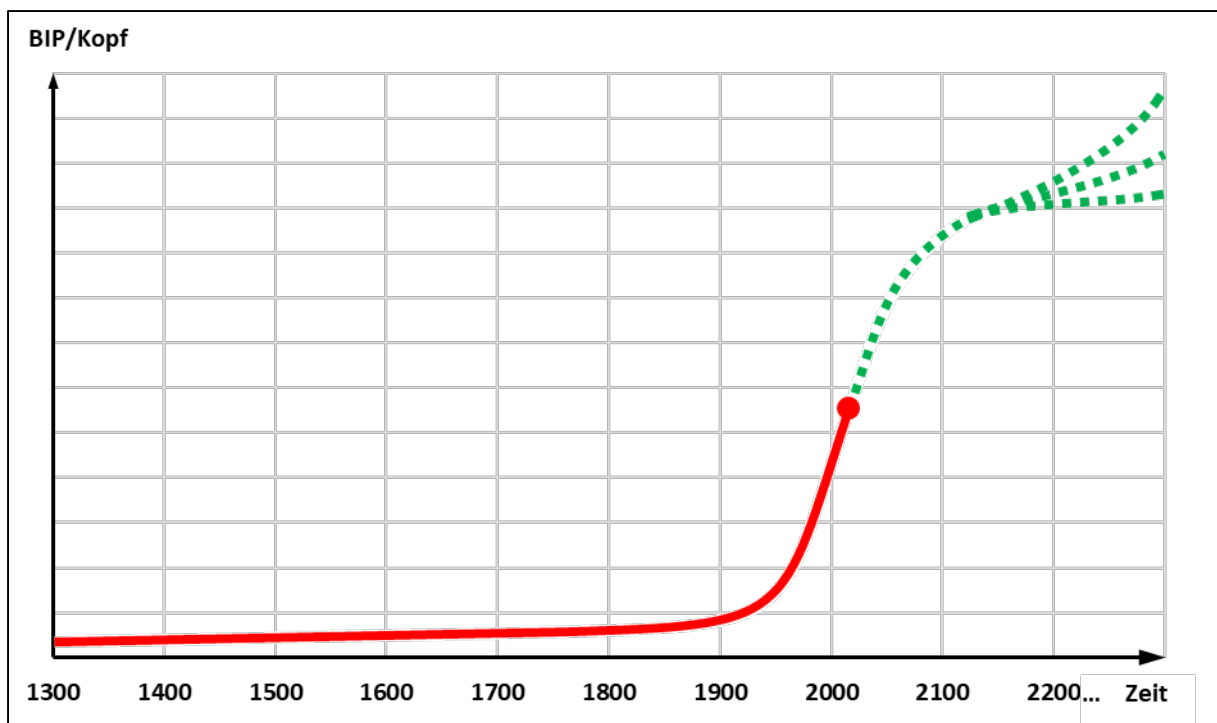
Einen zweiten Schub erlebte die Produktivität mit Beginn der Metall-Zeit, zunächst der Bronze, um 3.000 v. Chr. mit dem Bewässerungsfeldbau, dem Pflug und Ochsespann, der Erfindung von Rad und Wagen, der Schrift und der Herausbildung von Berufen. Die Bauern produzierten mehr als sie zur eigenen Reproduktion benötigten. Städte entwickelten sich zu lokalen Zentren, deren Einfluss bis weit ins Hinterland reichte. Mit der entstehenden Surplus-Produktion veränderte sich auch die soziale Organisation und es entstanden ausgeprägte Herrschaftsformen, hierarchisch-imperiale Agrikulturgesellschaften.

Im Protokapitalismus, der „Warmlaufphase“ für die kapitalistische Produktionsweise, entwickelte sich seit etwa 1000 n. Chr. unter Vermittlung und Regie des kaufmännischen Kapitals die Produktivität der Arbeit bei nach wie vor überschaubaren Produktionsmitteln Schritt für Schritt; Wind- und Wasserkraft und die Agrarorganisation (z.B. Dreifelderwirtschaft), Schifffahrt und Handel, Handwerk und Manufakturbetrieben. Mit Fronarbeit und Eroberungskriegen bestimmten Aneignung der Surplus-Arbeit und imperiales Denken des Adels die soziale und politische Entwicklung.

Mit dem Übergang zur kapitalistischen Produktionsweise ab etwa 1800 wird die Arbeit zunehmend vergesellschaftet, die Kooperation wird zur Normalform der Arbeit. Aus einem individuellen und ganzheitlichen wird ein kollektiver und höchst arbeitsteiliger Arbeitsprozess. Erfindungen, Technik und schließlich Wissenschaft wurden in einem System von renditegetriebener Konkurrenz zu zentralen Produktivitätsfaktoren, die im Einklang mit bürgerlicher Arbeitsethik, unternehmerischer Innovation und Investition, die Produktivitätsgewinne von bis dahin undenkbarem Ausmaß ermöglichten.

Industrielle und digitale Revolution bedeutet, dass immer mehr Maschinen die körperliche und geistige Arbeit des Menschen übernehmen. Es entsteht die große Industrie mit Dampfkraft, Elektromotoren, Verbrennungsmotoren, Maschinen und Maschinensystemen, Mechanik, Elektrizität, Chemie und Elektronik, wissenschaftlicher Betriebsführung, technischen Entwicklungsabteilungen und Grundlagenforschung, hohem Kapitaleinsatz und großem Ressourcenverbrauch. Sie ließen die Güterproduktion je Arbeitsstunde in historisch kurzer Zeit in die Höhe schnellen. Die Arbeitszeit stieg zunächst auf über 3800 Stunden jährlich, halbierte sich dann aber im Lauf von 150 Jahren.

**Grafik 6: Bruttoinlandsprodukt je Kopf, Schema der langfristigen Entwicklung**



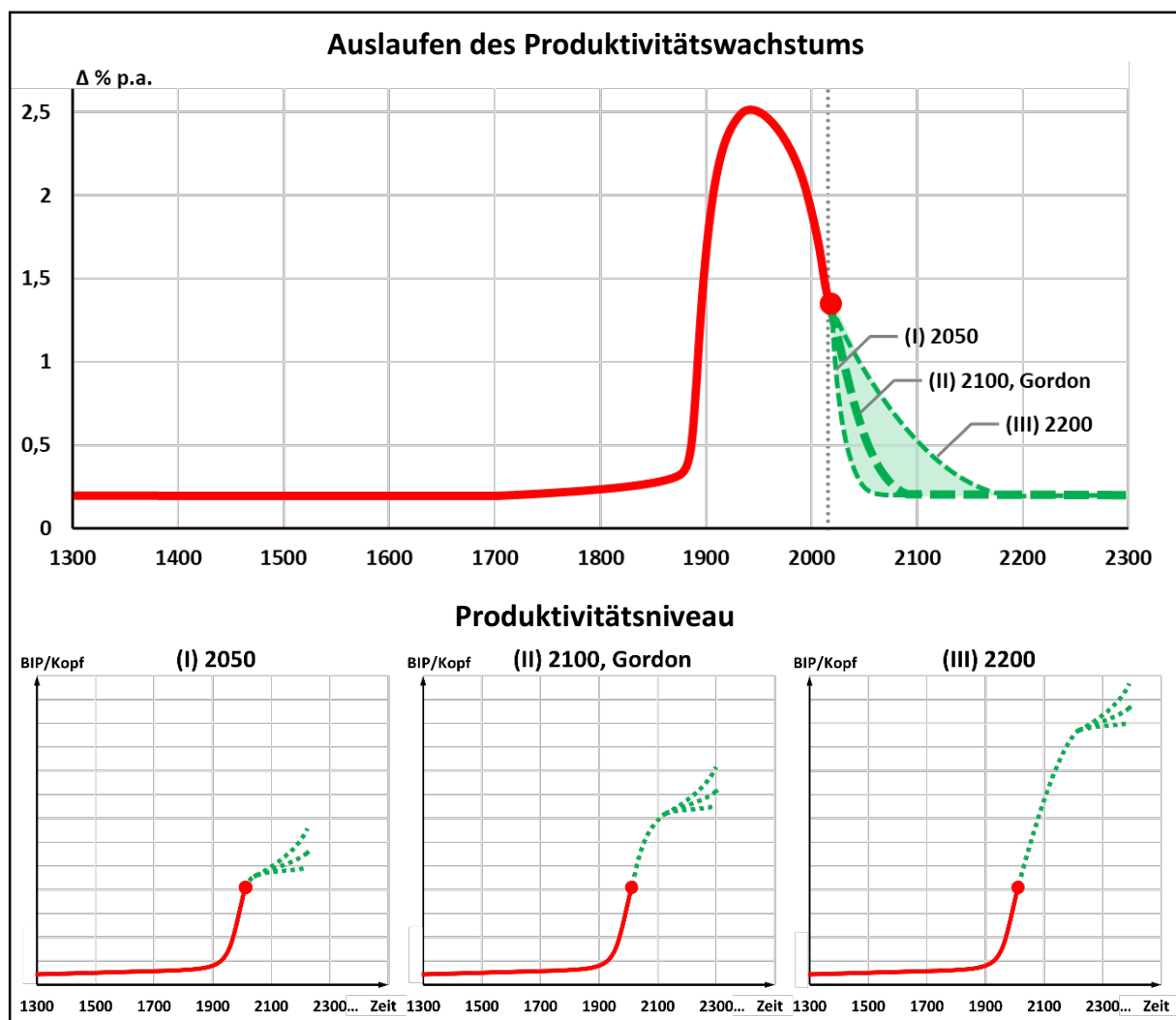
Schematische Darstellung.

Die Betrachtung der historischen Entwicklung der Produktivität führt zu der Frage, wie lange dieser gegenwärtige Produktivitätsschub andauern wird. Wir teilen Gordons Auf-

fassung, dass die rasante Entwicklung der Produktivkräfte auf Basis der technisch- wissenschaftlichen Revolution in Mechanik, Thermodynamik, Elektrizität, Chemie und schließlich Informationstechnik, getrieben durch unternehmerische Innovation, kapitalistische Konkurrenz, Globalisierung und staatlich-merkantilistische und staatlich-militaristische Politik, ein welthistorisch einmaliger Vorgang ist, der vor 200 Jahren begann.

In dieser Betrachtung hat die beschleunigte Produktivitätsentwicklung mit der weitgehenden Übernahme menschlicher Arbeit durch intelligente Maschinen einen oberen Auslaufpunkt. Dieser Auslaufpunkt stellt aber nicht das Ende jeglichen Produktivitätswachstums dar. Auch hier teilen wir Gordons These, dass die Arbeitsproduktivität je Stunde auch nach Auslaufen der industriellen und digitalen Revolution weiter langsam wachsen wird (Grafik 6).

**Grafik 7: BIP je Kopf, Szenarien für das Auslaufen der WTI in zeitlicher Dimension**



Schematische Darstellung.

Als Zeithorizont für das Auslaufen der industriellen und digitalen Revolution (WTI) setzt Gordon das Ende des 21. Jahrhunderts an, bleibt aber eine schlüssige Begründung für die Wahl des Jahres 2100 schuldig.<sup>8</sup>

Seine Argumentation würde mit dem Jahr 2050 oder 2200 als Zeithorizont genauso gut funktionieren. Der besondere, historisch einmalige Produktivitätsschub im Zuge der industriellen und digitalen Revolution würde sich entsprechend verlängern oder verkürzen (Grafik 7) und den Beginn der folgenden langsameren Wachstumsphase verschieben.

Konkreter formuliert hieße unsere Kernfrage nach „Ende oder Halbzeit eines großen Spiels“ in der Logik dieses historischen Gesamtbildes der Produktivitätsentwicklung: **Wo stehen wir heute auf der Produktivitätskurve?**

Die Frage wird unserer Auffassung nach beantwortbar, wenn man nach den Triebkräften der Produktivitätsentwicklung fragt und vor allem die Haupttriebkraft, die Automatisierung, in den Blick nimmt.

Die Triebfeder der wissenschaftlich-technischen Revolution ist die Substitution menschlicher Arbeit durch Maschinen. Mithin lässt sich die Frage, wo wir heute auf der Produktivitätskurve stehen, beantworten, wenn es gelingt, den heutigen **Automatisierungsgrad der Wirtschaft**, d.h. der materiellen und immateriellen Produktion empirisch zu bestimmen.

---

<sup>8</sup> „Now we combine the historical record with a provocative fantasy [sic!]. Overlaid on the historical record is a smoothly curved green line (Figure 2) which shows growth steadily increasing to the mid-20th century and then declining back to where it started, 0.2 percent per year by the end of the 21st century. The green line is designed both to mimic history but also have a smooth trajectory between now and the year 2100 that makes a soft landing on 0.2 percent growth.“ (Gordon 2013, S.5).

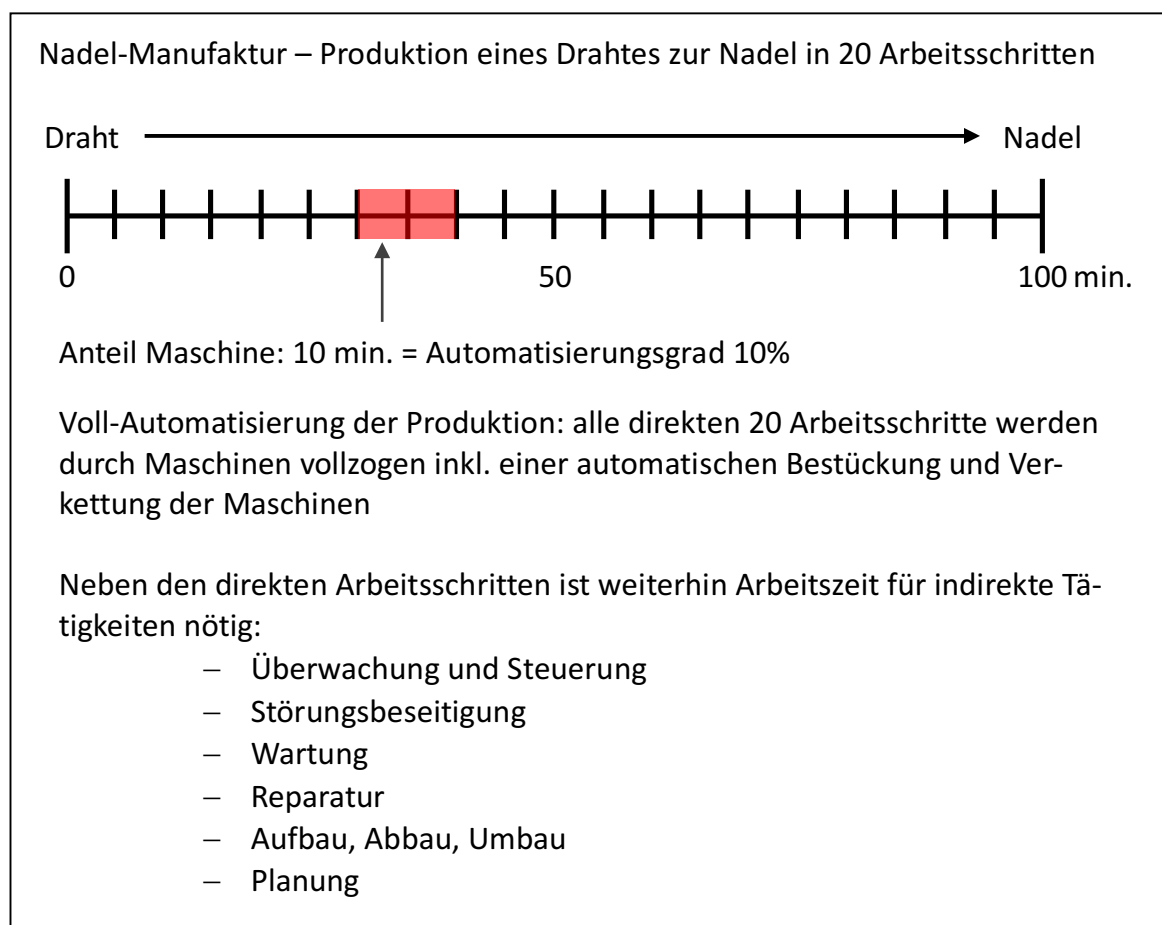
### 3. Automatisierungsgrad, Produktivität und notwendige Arbeitszeit

#### 3.1 Zum Begriff des Automatisierungsgrads

Die Automatisierung, der Ersatz der menschlichen Arbeit durch Maschinen, ist wesentlicher Hebel der Produktivitätssteigerung.

Der **Automatisierungsgrad** bezeichnet den Anteil menschlicher Arbeit innerhalb einer Wertschöpfungskette – oder eines Teils der Wertschöpfungskette – der durch Maschinen übernommen ist. Dies ist ein weiter Begriff von Automatisierung. Ein engerer bezieht sich auf Steuerungs- und Entscheidungsfunktionen ‚intelligenter‘ Maschinen, im Unterschied zur ‚Mechanisierung‘, die sich auf den Ersatz menschlicher Arbeit durch mechanische, hydraulische, pneumatische und elektrische Maschinen bezieht.

#### Grafik 8: Schema der Automatisierung der Nadel-Manufaktur



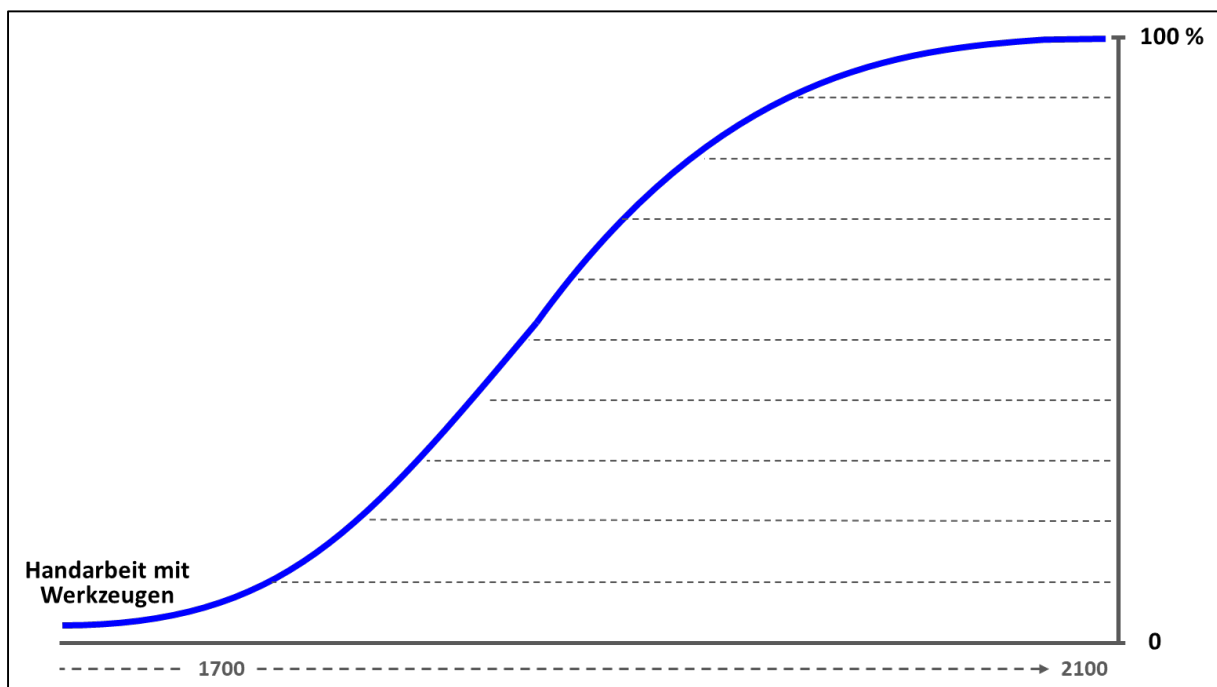
Blicken wir zurück in die Zeit von Handwerk und Manufaktur im Proto-Kapitalismus, vor Beginn der industriellen Revolution. Nehmen wir das berühmte Smith'sche Nadel-Beispiel (oder auch das Marx'sche Kutschen-Beispiel): Die Nadelmanufaktur umfasste die 20

Arbeitsschritte des Nadel-Handwerkers, teilte sie aber auf ebenso viele Arbeitsstationen spezialisierter Einzel-Arbeiter auf und verknüpfte diese. Also Produktivitätssteigerung durch Arbeitsteilung bei Null-Automatisierung.

Mit der Einführung von Arbeitsmaschinen, Maschinen-Systemen und Fließband-Verkettung wurden nach und nach einzelne der 20 Arbeitsschritte automatisiert, die Arbeiter wegrationalisiert und die Relation Nadel-Menge je Arbeitsstunde gesteigert. Endpunkt in der direkten Produktion wäre die Maschinisierung aller Arbeitsschritte, die automatische Befüllung, Entnahme, Transport etc. des Rohmaterials, der Zwischen- und Endprodukte.

Doch selbst in einem Produkt, das in einem solch hoch-automatisierten Produktionsprozess gefertigt ist, steckt nach wie vor menschliche Arbeitszeit: in vor- und nachgelagerten Prozessschritten oder in begleitenden Tätigkeiten. Im Nadel-Beispiel wären das die notwendige Arbeitszeit für Maschinen-Überwachung und Steuerung, Instandhaltung und Reparatur, Aufbau, Umbau, Abbau, Planung, Entwicklung, Einkauf, Verkauf, Buchhaltung, allgemeines Management – die im Zuge von Internet-of-things, künstlicher Intelligenz und Assistenzsystemen ebenfalls schrittweise verringert werden kann.

### Grafik 9: Automatisierungsgrad



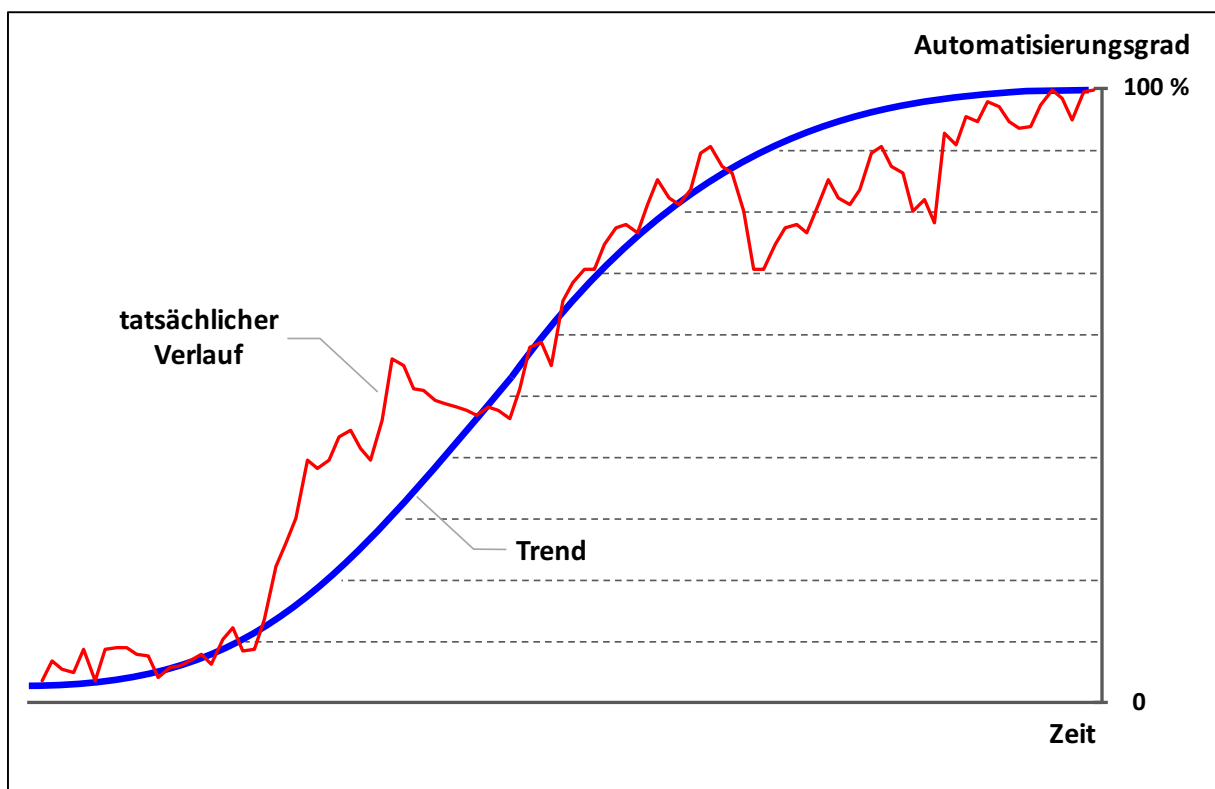
Schematische Darstellung.

Am Anfang dieser Entwicklung stand die Nadelmanufaktur mit Handarbeit, deren direkte und indirekte Tätigkeiten nach und nach automatisiert werden. Der Grenzwert dieser Entwicklung ist theoretisch eindeutig: Maximal ist die gesamte Wertschöpfungskette der

Nadelproduktion, inklusiver aller vor- und nachgelagerten sowie begleitenden Prozessschritte automatisiert. Der Grenzwert dieser Entwicklung des Automatisierungsgrades liegt bei 100 Prozent.

Jedoch ist es auch möglich, dass **Innovationsschritte** dazu führen, dass einzelne Arbeitsgänge wegfallen. Ein Beispiel hierfür ist das Entspelzen von Getreide: Das arbeitsintensive Entfernen der für den menschlichen Organismus unverdauliche Schale von u.a. Dinkel, Gerste, Hafer, Hirse und Reis (Entspelzen) konnte durch Züchtung bzw. Wechsel der Getreidesorte aus dem Arbeitsprozess eliminiert werden. Solche Innovationsschritte verringern die notwendige Arbeitszeit, stellen aber keine Automatisierung dar. In einem solchen Fall ändert sich die „Nulllinie“ der Betrachtung des Automationsgrades, wodurch sich in der langfristigen historischen Betrachtung unterschiedliche, überlappende Automatisierungs-„Regime“ ergeben können.

**Grafik 10: Entwicklung des Automatisierungsgrades: Schematische Darstellung**



Der tatsächliche Automatisierungsgrad ist zudem **Schwankungen** unterworfen. Mit **veränderten Produkt- und Produktionsstrukturen**, wie neuen Fertigungsmaterialien oder -verfahren, kann der Automatisierungsgrad vorübergehend sinken. Sofern es sich um materielle Güter handelt, dürften sich diese im Rahmen der Gesetze der Physik, Chemie und Biologie (Mechanik, Thermodynamik, Genetik...) bewegen, sodass sich an den elementaren Regeln der technisch-wissenschaftlichen Basis nichts ändert. Veränderte Herstellprozesse können erst einmal einen höheren Einsatz menschlicher Arbeit verlangen.

Üblicherweise steigt der Automatisierungsgrad nach einer Einführungsphase durch technischen Fortschritt wieder auf oder über das ursprüngliche Niveau.

Ein Beispiel dafür ist die Einführung von Aluminium-Karosserien in Serie im Automobilbau. Der hohe Automatisierungsgrad im Karosseriebau für Stahlkarosserien ging mit Einführung des neuen Materials anfangs verloren, sodass der Zusammenbau (Verschweißung) nahezu komplett in Handarbeit erfolgen musste. Heute aber läuft auch die Fertigung von Aluminium-Karosserien wieder hoch automatisiert.

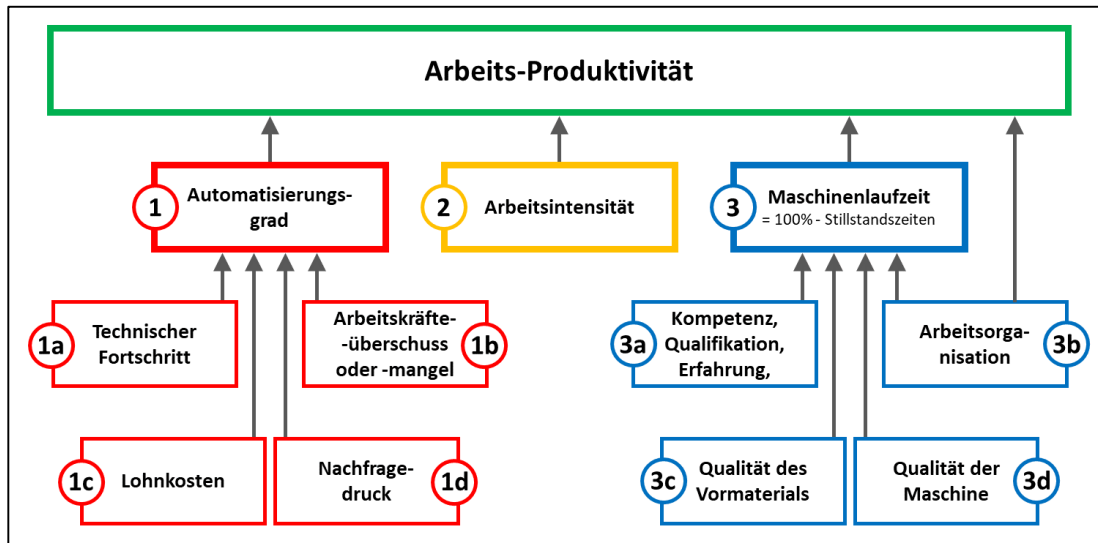
Der Automatisierungsgrad hat per definitionem einen theoretischen Grenzwert von 100 Prozent. Aber folgt daraus, dass auch die Arbeitsproduktivität einen Grenzwert haben muss?



## Exkurs: Zusammenhang Automatisierungsgrad – Produktivität

Wie fügt sich der Automatisierungsgrad in den Zusammenhang von Produktion und Arbeits-Produktivität? Es gibt zahlreiche Faktoren, die teils direkt, teils indirekt auf die Produktivität eines Arbeitssystems einwirken.

**Grafik 11: Produktivität und Automatisierungsgrad**



1. Zuallererst, wie bisher dargestellt, der **Automatisierungsgrad**, d.h. der Umfang in dem menschliche Arbeit durch Maschinen ersetzt ist. Dieser wird im Kern beeinflusst vom technischen Fortschritt, aber auch von betriebswirtschaftlichem Kalkül, das nötige Investitionen und Kosten der Maschinerie ins Verhältnis setzt zu den Lohnkosten, der Arbeitsmarktsituation (Arbeitskräfteüberschuss oder -mangel) und der Nachfrage, in Abhängigkeit der Durchsetzbarkeit von Rationalisierungen im Rahmen der industriellen Beziehungen.
2. Wenn Maschinen statt und mit menschlicher Arbeit eingesetzt werden, spielt ihre ‚Arbeits‘-Geschwindigkeit eine Rolle („Wie schnell läuft das Fließband?“). Die Maschinengeschwindigkeit ist gekoppelt mit einer daraus folgenden Arbeitsintensität der Menschen, wobei der Zusammenhang z.T. auch umgekehrt sein kann. Dann ist die **Arbeitsintensität** direkt der treibende Faktor.
3. Dritter Faktor ist die **Laufzeit der Maschinerie** innerhalb eines gegebenen Zeitrahmens (Schicht, Tag, Woche ...) oder umgekehrt die Stillstandszeiten durch Störfälle oder Instandhaltung.
  - 3a. Die Maschinenlaufzeit wird beeinflusst durch die Qualifikation und Erfahrung, kurz **Kompetenz der Arbeitskräfte**,
  - 3b. durch die **Arbeitsorganisation**, z.B. Kooperation und veränderte Arbeitsteilung
  - 3c. durch die **Qualität des Vormaterials**,
  - 3d. last but not least durch die **Qualität der Maschinerie** selbst.

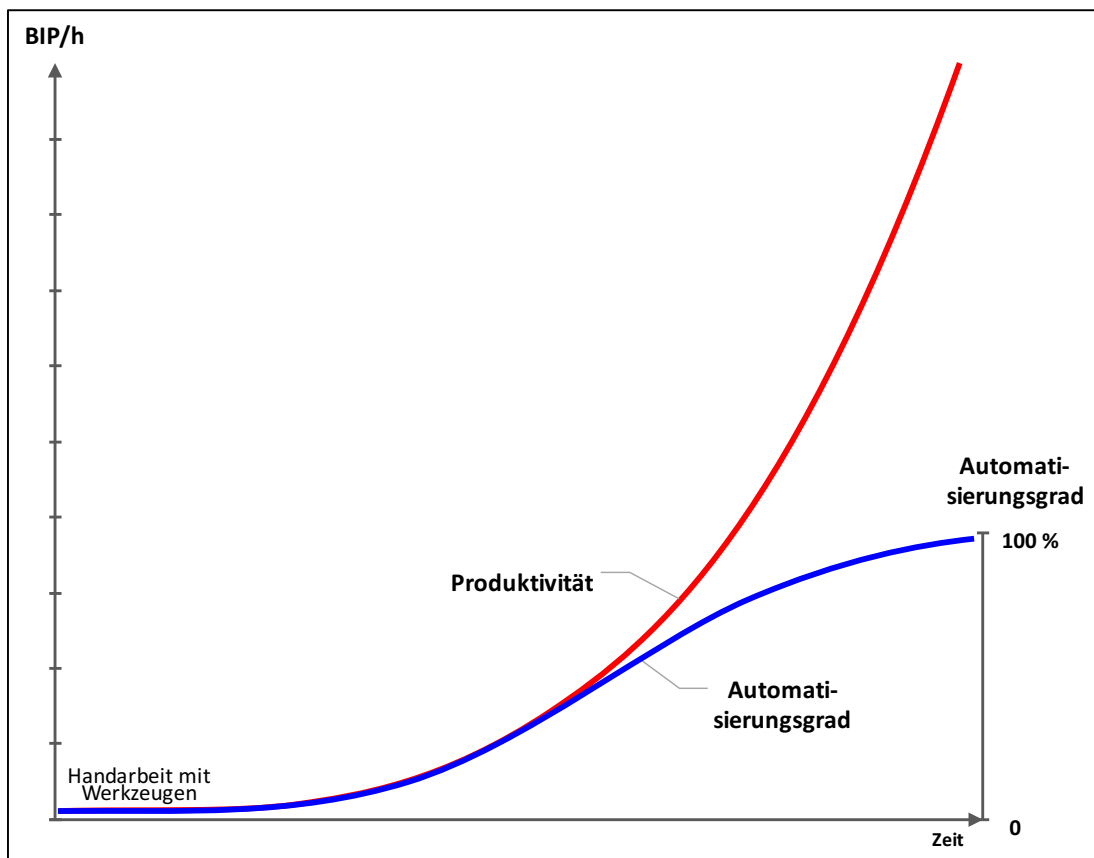
Die **Kapitalintensität** („capital density“), die in den üblichen Produktivitäts-Faktoren-Rechnungen gezeigt wird, ist ein abgeleiteter Faktor, aus dem Automatisierungsgrad, dem ingenieurmäßigen Konstruktions-Know-How und schließlich dem Preis der Anlagen.

### 3.2 Grenzwerte

Der grundlegende Zusammenhang von Automatisierungsgrad und Produktivität ist einfach und in der Automatisierung selbst begründet. Mit der Substitution menschlicher Arbeit durch Maschinen sinkt die verbleibende, notwendige Arbeitszeit im Produktionsprozess c.p. immer weiter ab, d.h. die produzierte Menge kann mit weniger Arbeitszeit hergestellt werden. Mit steigendem Automatisierungsgrad steigt daher der Output je Arbeitsstunde, die Arbeitsproduktivität, an.

Je weiter der Automatisierungsgrad steigt, umso mehr vergrößert sich der „Hebel“ einer Automatisierung weiterer Prozessschritte, da jeder weitere Automatisierungsschritt einen größeren relativen Anteil der verbleibenden menschlichen Arbeit ausmacht. Folglich steigt das Produktivitätsniveau mit steigendem Automatisierungsgrad exponentiell an.

**Grafik 12: Automatisierungsgrad und Produktivität**



Schematische Darstellung.

Für den **Automatisierungsgrad** ist ein Grenzwert nachvollziehbar. Er kann maximal 100 Prozent betragen.

Für die **Produktivität** gibt es theoretisch keine Obergrenze, da die Produktmenge - und damit auch die üblicherweise als Produktmenge je Zeiteinheit ausgewiesene Arbeits-Produktivität - im Prinzip beliebig steigerbar ist.

$$\text{Produktivität} = \frac{\text{Produktmenge}}{\text{Zeiteinheit}}$$

Konnte ein Team von Stahlarbeitern früher in einer Arbeitsstunde vielleicht 1 t Stahl herstellen, können es heute vielleicht 10 t, morgen 100 t, übermorgen 1.000 t und so weiter. Es scheint also keinen Grenzwert zu geben bzw. dieser Grenzwert ist, mathematisch gesprochen: *unendlich*.

Produktivität
1 t/h
10 t/h
100 t/h
1.000 t/h
...

Klar ist auch, dass sich mit steigendem Automatisierungsgrad der ökonomische Sinn einer weiteren Automatisierung verringert, da der Anteil der Lohnstückkosten an den Gesamtstückkosten sinkt und Faktoren wie die Laufzeit und Verfügbarkeit von Anlagen wichtiger werden. Aber auch aus anderen Gründen, z.B. um ganzheitliche Tätigkeiten im Sinn „guter Arbeit“ oder um die Routine für seltene anfallende Aufgaben zu erhalten, kann es sinnvoll sein, nicht alle technisch möglichen Automatisierungspotenziale zu realisieren.

### Die nötige Arbeit

Anschaulicher wird die Sache, wenn man eine andere, in der Debatte um Produktivität bisher wenig gebräuchliche, Kenngröße betrachtet: den Kehrwert der Produktivität, die **nötige Arbeit**. Sie gibt an, wie viel Arbeitszeit nötig ist, um eine Einheit eines Produktes zu produzieren.

$$\text{Nötige Arbeit} = \frac{\text{Zeitmenge}}{\text{Produkteinheit}}$$

Greift man das Beispiel der Produktion von einer Tonne Stahl von oben auf, ergibt sich der Kehrwert:

### Nötige Arbeit

1t = 1 Stunde

1t = 6 Minuten

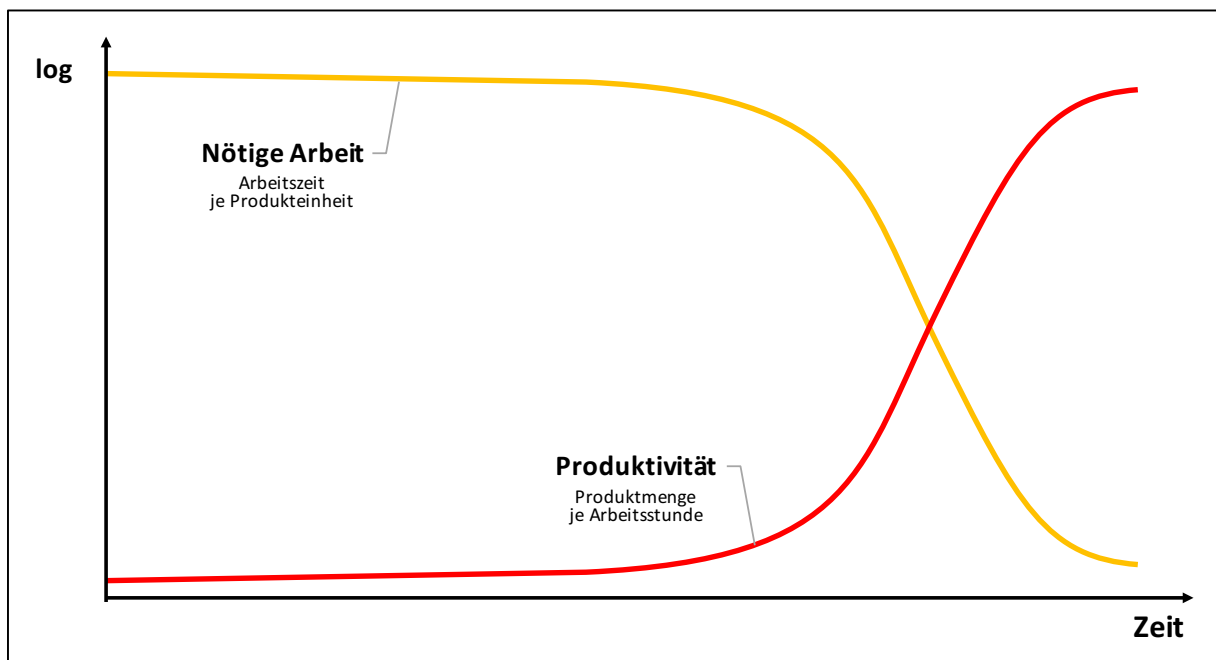
1t = 36 Sekunden

1t = 3,6 Sekunden

...

Dies bedeutet, dass die zur Produktion einer Tonne Stahl nötige Arbeitszeit sich im Zeitverlauf des Beispiels von ursprünglich einer Stunde rapide verringert und am Ende nur noch wenige Sekunden Arbeit zur Herstellung einer Tonne Stahl nötig wären.

### Grafik 13: Zusammenhang von Produktivität und nötiger Arbeit

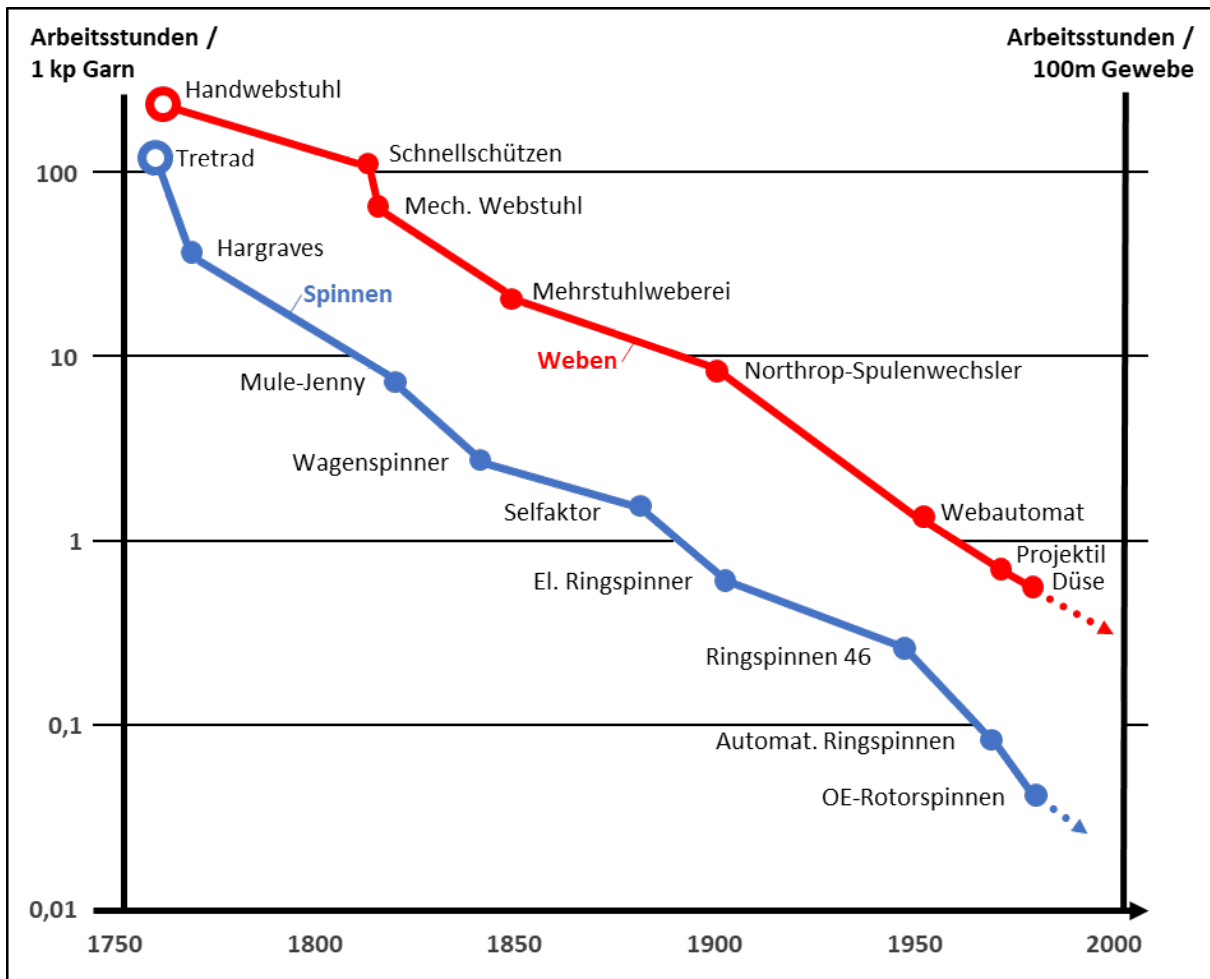


Schematische Darstellung, logarithmische Skala

Die notwendige Arbeitszeit je Produkteinheit nähert sich mit steigender Produktivität immer weiter asymptotisch ihrem Grenzwert null an. Null nötige Arbeitszeit entspräche 100% Automatisierung über die gesamte Wertschöpfungskette, also der vollständigen Substitution aller in die Herstellung des Produktes investierten menschlichen Arbeitszeiten durch Cyber-Physical-Systems.

Empirisch lässt sich dieser Trend für einzelne Produkte eindrücklich nachzeichnen. Bohnsack (2002) zeigt am Beispiel des „Spinnens“ und des „Webens“, wie sich die nötige Arbeit für zwei typische Produkte der Textilindustrie historisch entwickelt haben.

**Grafik 14: Nötige Arbeit für Spinnen und Weben, 1750-2000**



Quelle: Bohnsack (2002, S.194): Arbeitsstunden für das Spinnen von 1 kp Garn und das Weben von 100m Gewebe, logarithmische Skala der Arbeitszeit.

Das Beispiel zeigt, wie sich für zwei Produktgruppen die notwendige Arbeitszeit für eine definierte Produktmenge durch Automatisierung im Zeitverlauf verändert hat. Der lineare Verlauf der Linien der Arbeitszeit für das Spinnen von 1 kp Garn bzw. das Weben von 100m Gewebe auf der logarithmischen Zeitskala zeigt, dass sich die nötige Arbeit für diese beiden Teile der Wertschöpfungskette in den vergangenen 250 Jahren mit konstanten Raten verringert hat (um den Faktor 10 jeweils etwa alle 70 bis 80 Jahre), d.h. im Umkehrschluss: die Produktivität dieses Teils der Wertschöpfungskette des Spinnens und Webens wächst seit 1750 exponentiell.

Ausgangspunkt der Überlegungen war die Frage nach den Grenzen des Produktivitätswachstums. Die Automatisierung, also die Substitution menschlicher Arbeit durch Maschinen im Zuge der technisch-wissenschaftlichen Revolution, hält weiter an und hat die

Produktivität explodieren und gleichzeitig die notwendige Arbeit zur Erstellung des heutigen Bruttoinlandsprodukts sinken lassen. Die Grenzwertbetrachtung dieser Entwicklung, also 100% Automatisierung, zeigt, dass der damit verbundene Grenzwert der nötigen Arbeit bei Null liegt. Mit steigendem gesamtwirtschaftlichem Automatisierungsgrad wird die notwendige Arbeit für die Herstellung des heutigen BIP weiter sinken. Tatsächlich liegt die 100% Automatisierung *gesamter* Wertschöpfungsketten – von Rohstoffgewinnung über Verarbeitung und Vertrieb/Logistik bis hin zu Entwicklung und Design usw. – noch in beträchtlicher Ferne.

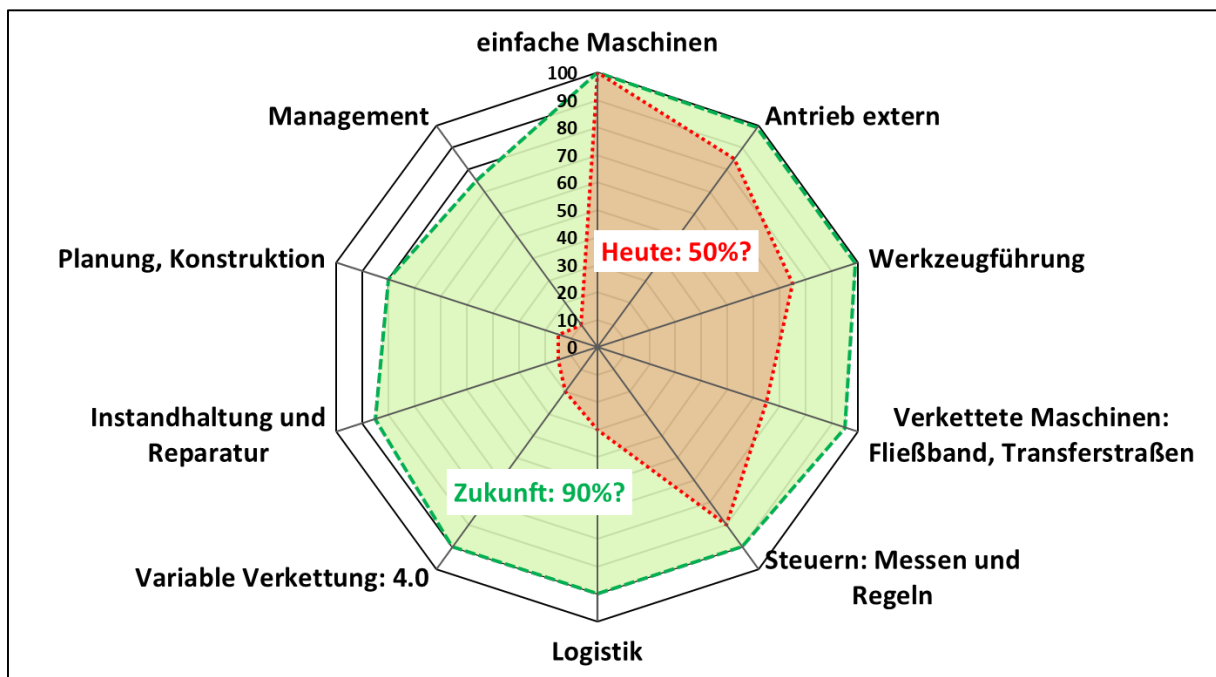
### Limitierende Faktoren

Begrenzende Faktoren sorgen dafür, dass die gebratenen Tauben des Schlaraffenlandes nicht gleich morgen ins Maul fliegen. Das am Spinnen-und-Weben-Beispiel empirisch zu beobachtende, exponentielle Wachstum von Produktivität durch steigende Automatisierung lässt sich nicht ohne weiteres auf die Wertschöpfung der Gesamtwirtschaft übertragen. Für den **gesamtwirtschaftlichen Automatisierungsgrad** gibt es Faktoren, welche dem Wachstum bzw. der Wachstumsgeschwindigkeit entgegenstehen. Der tatsächliche Verlauf der aggregierten Automatisierungskurve ist daher nicht exponentiell, sondern s-förmig.

Nicht alle Teile einer Wertschöpfungskette oder alle Industriezweige sind einer Automatisierung gleich zugänglich. Zuerst werden die einfach zu erschließenden Teile der gesamtwirtschaftlichen Wertschöpfungsketten automatisiert. Folglich werden mit steigendem Automatisierungsgrad die einer Automatisierung immer schwerer zugänglichen Teile übrigbleiben, womit die Automatisierungsgeschwindigkeit im Zeitverlauf sinkt.

Die aktuellen Entwicklungen in Robotik und KI zeigen, dass die weitgehende Automatisierung der Industrie und der Landwirtschaft nicht nur denkbar, sondern auch technologisch realisierbar wird. Das Endstadium in der **materiellen Produktion** sieht vermutlich so aus: Direkte Arbeiten sind nahezu vollautomatisiert und es verbleibt nur ein kleiner Teil an indirekten Arbeiten in der Wertschöpfungskette, die weiterhin menschliche Arbeitskräfte erfordern, sodass vielleicht 10 Prozent der ursprünglichen Manufaktur-Besatzung um 1800 nötig sind. Das heißt der Automatisierungsgrad des Gesamt-System der materiellen Produktion läge dann bei rund 90 Prozent (schematisch dargestellt in Grafik 15).

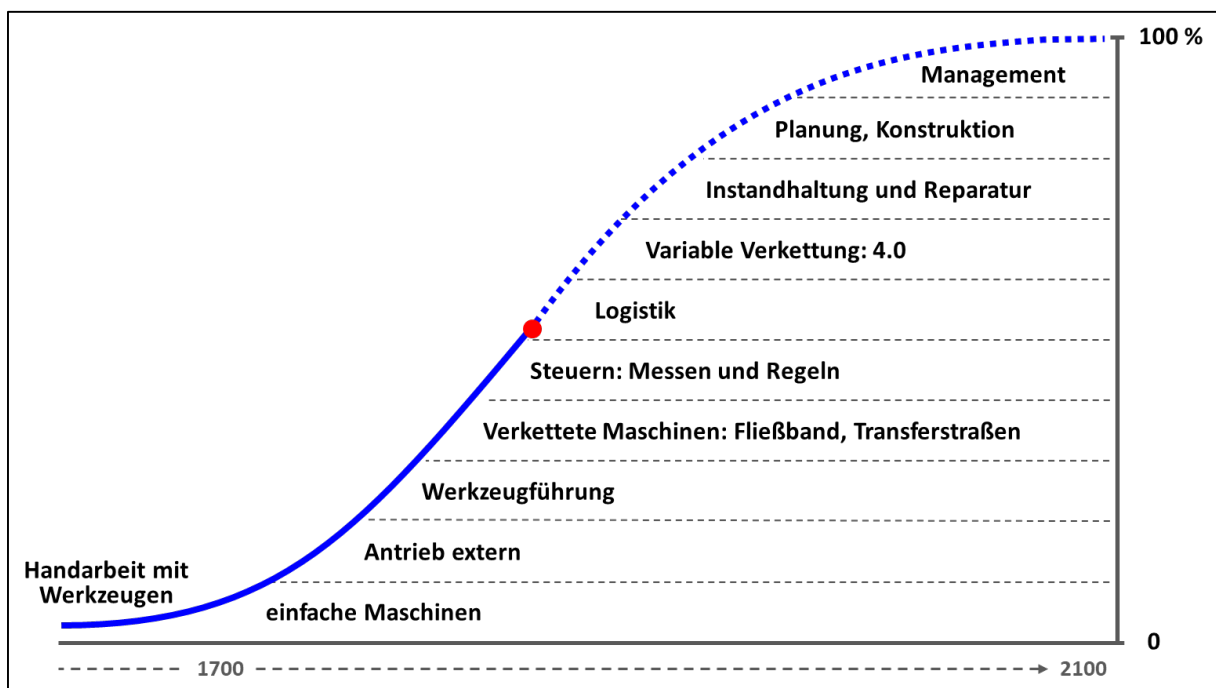
**Grafik 15: Entwicklung des Automatisierungsgrads der materiellen Produktion**



Schematische Darstellung

Auch dieser wird weiter erhöht, aber vielleicht wie bei der Beschleunigung von Massen: je näher der Lichtgeschwindigkeit desto größer die nötigen Grenzkräfte (Grafik 16).

**Grafik 16: Automatisierungsgrad der materiellen Produktion**



Schematische Darstellung.



## Exkurs: Der frühe amerikanische Traum

Die Pioniere der Automation hatten Anfang der 1950er Jahre einen Traum: Die vollautomatische Fabrik.

Der Begriff „automation“ (engl.) wurde durch D. S. Harder, dem Vize-Präsidenten für Produktion der Ford Motor Company, geprägt, um die veränderte Produktionsweise zu beschreiben, in der Maschinen größere Teile des Fertigungsprozesses übernehmen – vor allem auch das Handling der Teile zwischen den Produktionsschritten, welches bis dahin manuell erfolgte. Das Ford-Werk in Cleveland, 1950 eröffnet, galt seinerzeit als erste „automated factory“ der USA (Diebold 1952).



*Transferstraße der Zylinderkopffertigung im Ford-Werk in Cleveland (1950)*

Einige Fertigungsschritte, insbesondere die Transferstraße der Zylinderkopffertigung, stellten eine neue Qualität der Automatisierung dar (Bright, 1958). Diese Transferstraße umfasste 555 verschiedene Operationen und wurde von lediglich einem Aufseher und zwei Monteuren für anfallende Reparaturen bedient (Harder 1953).

Im Geist dieser Entwicklungen entstand die Idee einer vollautomatischen Fabrik als (noch fernes) Zielbild einer solchen, auf Automatisierung weiter Teile der Fabrik beruhenden, Produktionsphilosophie (Harder 1955). Henry Ford II. wählte die amerikanischen Unternehmen „an der Schwelle einer goldenen Zukunft“.

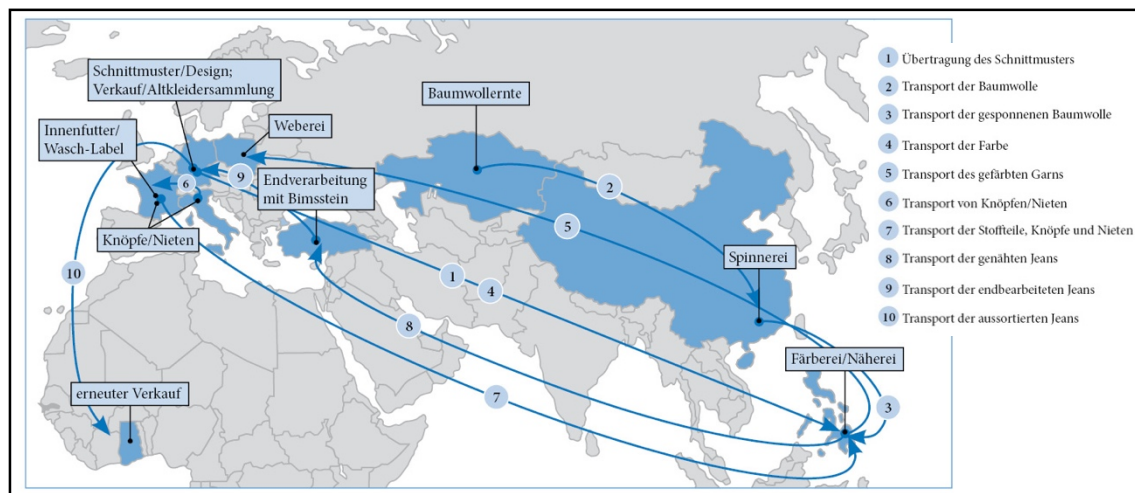


Die Transferstraße war einerseits die logische Weiterentwicklung der Fließbandfertigung, andererseits ökonomische Notwendigkeit (geringere Kosten und Prozesszeiten bei höherer Qualität). Zudem hatte die „automation“ auch einen sozialen Wert, da monotone und unfallträchtige Tätigkeiten entfielen und anspruchsvollere Tätigkeiten zunahm, für welche die Beschäftigten von den Unternehmen entsprechend qualifiziert wurden, da die nötigen Qualifikationen nicht am Markt verfügbar waren.

Die Ausweitung der Automatisierung war jedoch nicht unproblematisch (Bright 1958): Technisch war die Komplexität nicht immer realisierbar und/oder nicht beherrschbar (Fehleranfälligkeit). Zudem war die Flexibilität der Transferstraßen sehr eingeschränkt, sodass Produktwechsel aufwendig und kostspielig waren. Auch politisch regte sich Widerstand, da als Folge einer fortschreitenden Automatisierung Massenarbeitslosigkeit befürchtet wurde (Pursell 2007).

Erfolge feierte die frühe Automatisierung insbesondere bei der Herstellung großer Serien während Fortschritte bei der Flexibilisierung großer Transferstraßen auf sich warten ließen (Hounshell 2000), sodass die „vollautomatische Fabrik“ vorerst eine Utopie blieb.

### Grafik 17: Wertschöpfungskette einer „deutschen“ Jeans



Quelle: global-trends.info [abgerufen: 10.10.2017].

Heute erscheinen die damaligen Headwinds überwindbar. Tatsächlich bilden die global vernetzten Wertschöpfungsketten eine Art „virtuelles (oder verlängertes) Fließband“, auf dem Produkte nach dem Pull-Prinzip geordert und zwischen den Produktionsschritten dank RFID und Vernetzung über Unternehmens- und Ländergrenzen hinweg übergeben werden (vgl. Grafik 17, Produktionsweg und Übergabepunkte einer „deutschen“, d.h. in Deutschland designten und verkauften, Jeans).

Anders sieht es im Bereich der **nicht-materiellen Produktion**, dem sog. „Tertiären Sektor“, aus. Die einzelnen Wirtschaftszweige sind sehr heterogen und unterscheiden sich in ihrer Automatisierbarkeit. So gibt es in der nicht-materiellen Produktion eine große Bandbreite hinsichtlich des Anteils der Hand- und Kopfarbeit, des Erfüllungsortes, der Dauer und Haltbarkeit/Vergänglichkeit der Güter sowie der Wettbewerbs-, Organisations- und Erwerbsstrukturen.

Vor 70 Jahren (Clark, 1957) erschienen die sogenannten Dienstleistungen praktisch nicht automatisierbar und damit als dauerhafte Bremsen des gesamtwirtschaftlichen Produktivitätswachstums. Fourastie (1954) sah in diesen ‚tertiären‘, nicht-automatisierbaren Bereichen - insbesondere in den personalen Dienstleistungen - den Schwerpunkt künftiger Wirtschaftsstrukturen.

Baumol verweist in seinem Zwei-Sektoren-Modell, bestehend aus einem ‚progressiven‘ und einem ‚stagnierenden‘ Sektor, auf die steigenden relativen Kosten („cost disease“) des quasi handwerklichen, einer Automatisierung schwer zugänglichen Sektors, insbesondere bei Gesundheit, Ausbildung, Kunst und Dienstleistungen der öffentlichen Hand (Baumol/Bowen 1966).

Die Grenze der Nicht-Automatisierbarkeit hat sich in den vergangenen 70 Jahren verschoben. Entsprechend heterogen ist heute der Automatisierungsgrad des sogenannten ‚tertiären Sektors‘: Einige Teilbereiche sind bereits hochautomatisiert, wie beispielsweise der Computerhandel mit standardisierten Finanzprodukten. Andere Teilbereiche sind nach wie vor schwer oder gar nicht automatisierbar – insbesondere personale Dienstleistungen oder besonderen Anforderungen an Motorik, Sensorik sowie Kreativität/Künstlerum oder (emotionale) Intelligenz wie bei Friseuren, Musiker, Psychologen oder Ärzten (vgl. Baumol 2012). Mit der zunehmenden Vernetzung von Informationen, der Weiterentwicklung von künstlicher Intelligenz und kollaborativen Mensch-Maschine-Systemen, ergeben sich heute und in Zukunft neue Möglichkeiten der Rationalisierung.

Bei den Dienstleistungen ist also zu erwarten, dass sich die Grenzen der Automatisierbarkeit durch die Entwicklung der IKT nach und nach verschieben. Insbesondere gilt dies in den produktionsnahen Dienstleistungen wie den Entwicklungs-, Vertriebs- und Dienstleistungsberufen, in denen die Kosten-Rendite-Logik einen verstärkten IT-Einsatz treibt (vgl. Oulton 2001, Baumol 2012).

Allerdings stellt sich die Frage, für welche Dienstleistungen eine Automatisierung überhaupt wünschenswert ist – zum Beispiel im Bereich der sozialen und kreativen Dienstleistungen, aber auch in der Wissensarbeit. Diese Beschränkungen können soziale Gründe haben, z. B. bei Erziehung, Medizin oder Pflege, oder aus dem Wunsch nach attraktiver, sinnstiftender Arbeit, z.B. bei Kunst, Kultur oder Handwerk resultieren. Im Sinne einer

Guten Arbeit dürften sinnstiftende, soziale und kreative Tätigkeiten mit einer hohen Identifikation den meisten Menschen erhaltenswert scheinen, beispielsweise Ärzte, Forscher und Lehrer – im Gegensatz zur Arbeit in Call-Centern oder der Buchhaltung.

## Überfluss-Ökonomie

Wenn die Arbeits-Produktivität so weit steigt, dass ein reicher Warenkorb dank Automatisierung mit wenig Aufwand an menschlicher Arbeitszeit hergestellt werden könnte, träte das **Knappheitsproblem** in den Hintergrund.

Nach und nach würden sich in solchen Überfluss-Gesellschaften dann auch neue Fragen der gesellschaftlichen Steuerung von Arbeitsteilung, Tausch und Verteilung stellen. Bevor wir diese paradiesischen Zustände weiter vertiefen, sind aber noch einige limitierenden Faktoren zu bestimmen: Die „Null-Grenzkosten-Ökonomie“ gilt erst, wenn auch die anderen Produktionsfaktoren nicht von Knappheit betroffen sind.

## Faktor-Produktivitäten

Bei **Energie und Rohstoffen** sind zwei Faktoren zu berücksichtigen: die **nötige Arbeit zur Erzeugung** und die **Knappheitsverhältnisse**. Für die Erzeugung gilt dieselbe Logik wie allgemein in der materiellen Produktion: mit steigendem Automatisierungsgrad sinkt die nötige Arbeitszeit je Kilo-Watt, Tonne, etc.

Die **Knappheitsverhältnisse** sind differenziert: Die Verfügbarkeit ist

- begrenzt bei fossilen Energiequellen und seltenen Rohstoffen
- unbegrenzt bei Sonne, Wind, Wasserkraft
- tendenziell unbegrenzt bei recycelbaren Materialien und Fortschritten chemischer Synthesen.

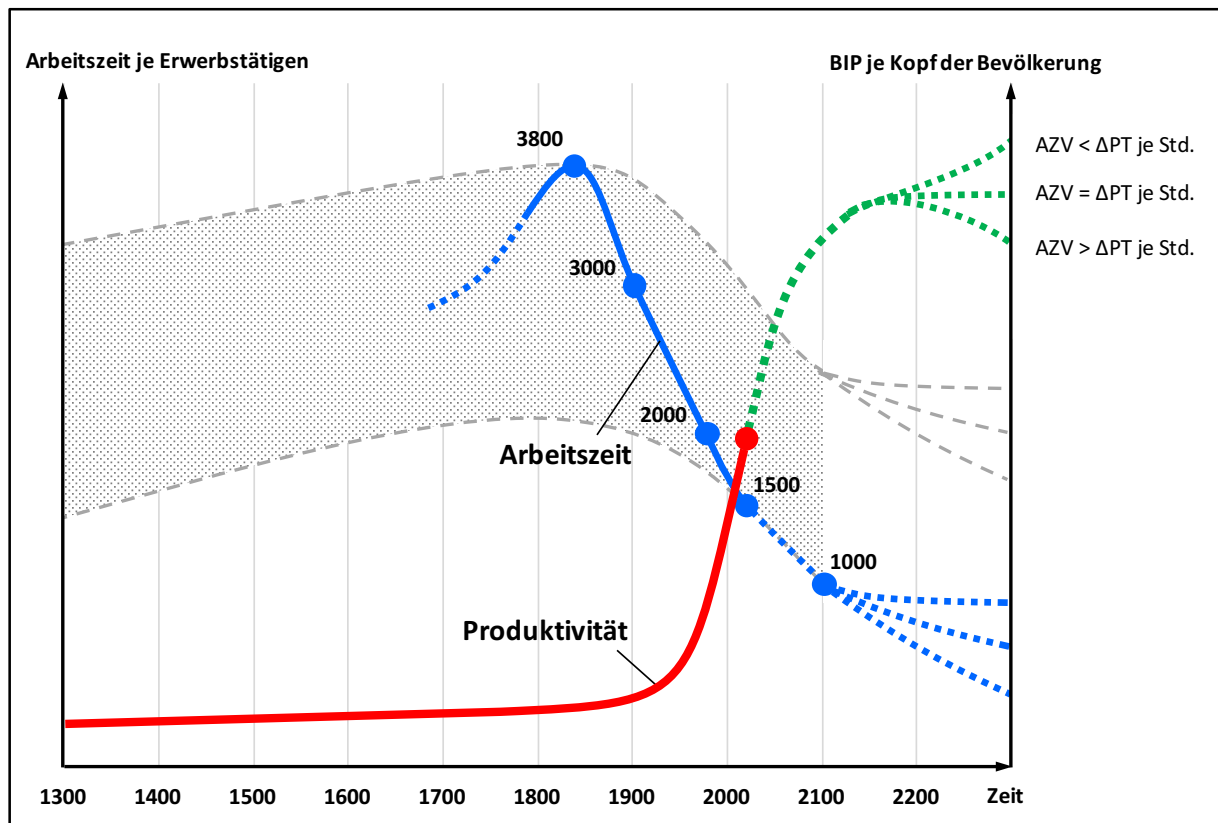
Bei **Kapitalgütern** ist die Lage ebenso differenziert: Sofern es sich um Maschinen, Anlagen, Infrastruktur handelt, gilt wiederum die Logik der materiellen Produktion. Im Maschinenbau hat längst die Epoche begonnen, in der Maschinen Maschinen bauen. Bei immateriellen Kapitalgütern, wie Rechten und Patenten, gelten Knappheitsverhältnisse.

Schließlich der Produktionsfaktor **Boden**: Am Ende wahrscheinlich der einzige limitierte. Wenn wir nicht den Weltraum erobern und andere Erden finden, wird er dauerhaft knapp sein.

## Langfristige Entwicklung der Arbeitszeit

Die hergestellte Gütermenge pro Arbeitsstunde ist bei hinreichend langem Zeitraum bei-  
nahe beliebig steigerbar; eine Begrenzung ergibt sich im materiellen pro-Kopf-Wohlstand  
lediglich durch die Entscheidung für (noch) kürzere Arbeitszeiten.

**Grafik 18: Produktivität und Arbeitszeit**



Schematische Darstellung.

Grafik 18 ergänzt das Schema der langfristigen Entwicklung des BIP pro Kopf (siehe Seite 15, Grafik 6) um die langfristige Entwicklung der Arbeitszeit. Historisch gesehen hat sich die Arbeitszeit (blaue Linie) seit Beginn der industriellen Revolution deutlich verkürzt. Zur Hochzeit des Manchester-Kapitalismus um 1840 lag die Arbeitszeit bei etwa 3.800 Stunden pro Jahr, was einem 14-Stunden-Tag bei sechs Arbeitstagen entspricht. Seitdem sinkt die jährliche Arbeitszeit. Bis heute hat sich dieser Wert mehr als halbiert.

Für die langfristige Entwicklung der Gütermenge pro Kopf nach Auslaufen des historisch einmaligen Produktivitätsschubs durch die industrielle und digitale Revolution ergeben sich damit folgende Varianten c.p. (gestrichelte Linien in Grafik 18):

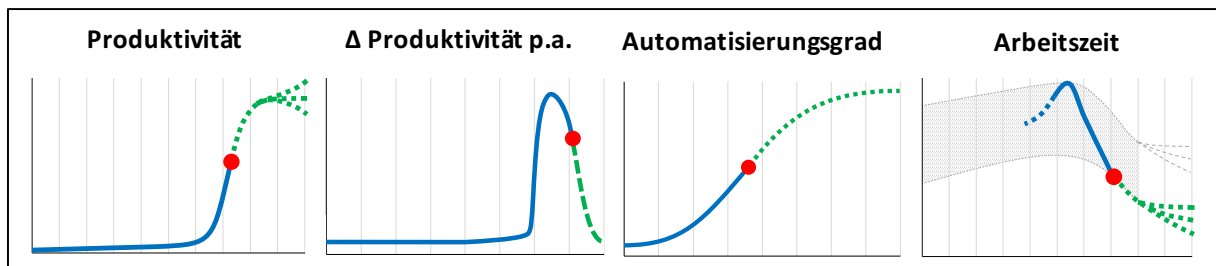
- **AZV < PT:** Die verfügbare **Gütermenge steigt weiter** an. Liegt die jährliche Arbeitszeitverkürzung (AZV) unter dem Anstieg der Produktivität (PT), so führt dies zu einem langsamen, dennoch exponentiellen Wachstum.
- **AZV = PT:** Die verfügbare **Gütermenge bleibt stabil**, jedoch sinkt die für die Erstellung notwendige Arbeitszeit weiter ab. Arbeitszeitverkürzung und der Anstieg der Produktivität gleichen sich aus.
- **AZV > PT:** Die verfügbare **Gütermenge geht zurück**. In diesem Fall übersteigt die jährliche Verkürzung der Arbeitszeit den Anstieg der Stundenproduktivität. Der materielle Wohlstand wird zugunsten eines höheren Zeitwohls reduziert.

Eine materielle Überfluss-Ökonomie scheint in den kommenden Jahrhunderten möglich, in der kurze Arbeitszeiten, z.B. 1.000, 800 oder 500 Stunden jährlich, mit BIP pro Kopf-Niveaus wie heute in Norwegen, der Schweiz, etc. global verfügbar wären.

Eine andere Verwendung zusätzlichen Einkommens-Wohls auf Grund steigender Produktivität wäre – neben der Arbeitszeitverkürzung – die Entscheidung für eine bessere Produkt-Qualität und/oder eine nachhaltigere Produktion, die u.U. auch zu einer niedrigeren Mengen-Produktivität führen kann, z.B. in der Landwirtschaft.

## 4. Empirisch-historische Erfassung des Automatisierungsgrads

Grafik 19: Historische Entwicklung



Schematische Darstellung der zentralen in diesem Papier diskutierten Größen und ihrer historischen Entwicklung (von links): Niveau der Produktivität, jährliche Wachstumsraten der Produktivität, Automatisierungsgrad und Arbeitszeit.

Die historische Betrachtung der vorangegangenen Kapitel (zusammengefasst in Grafik 19) hat gezeigt, dass wir uns *mitten* in einer Explosion der Produktivität befinden – aber wo genau? Um zu bestimmen, an welcher Stelle der Entwicklung wir uns befinden, stellt sich die Frage, wie hoch der aktuelle gesamtwirtschaftliche Automatisierungsgrad ist.

Für die empirisch-historische Erfassung des Automatisierungsgrades reicht die bloße Beschreibung, z.B. von Veränderungen des technischen Fortschritts in der Herstellung von Waren und der Bereitstellung von Dienstleistungen nicht aus. Vielmehr bedarf es einer feinstufigen Erfassung, Skalierung und Messung der Automatisierung, um den aktuellen Automatisierungsgrad einer Anlage, eines Betriebes, eines Wirtschaftssektors oder der Volkswirtschaft insgesamt bestimmen zu können.

### 4.1 Skalierung

Wie ist der Automatisierungsgrad empirisch zu erfassen, wie könnte eine Skalierung aussehen?

Trotz zahlreicher Versuche, den Stand der Technik und Automatisierung zu beschreiben, ist es bis heute nicht gelungen, ein einheitliches und anerkanntes „Messverfahren“ oder Bewertungsschema für diesen Zweck zu etablieren.

Der Beginn der Automatisierung liegt in der Industrie. Entsprechend konzentrieren sich die ersten Ansätze zur Bestimmung des Automatisierungsgrades auch auf die industrielle Produktion. Eine der ersten und bereits damals häufig zitierten Ansätze liefert Bright

(1958) mit seinem Mitte der 1950er Jahre entwickelten Schema der Automatisierung.<sup>9</sup> Er beschreibt in seinen 17 Stufen der Automatisierung (Grafik 20) qualitativ technisch die Entwicklungsschritte der Automatisierung der damaligen technischen Möglichkeiten.

**Grafik 20: 17 Stufen der Automatisierung bei Bright (1958)**

Lvl.	Name	Power source	Type of machine response	Initializing control source
1	hand	manual	variable	from man
2	hand tool			
3	powered hand tool	mechanical (nonmanual)	fixed within the machine	from a control mechanism that directs a predetermined pattern of action
4	power tool, hand control			
5	power tool, fixed cycle (single function)			
6	power tool, program control (sequence of fixed functions)			
7	power tool system, remote controlled		responds with signal	from a variable in the environment
8	actuation by introduction of work piece			
9	measurement of a characteristic		responds with action, selects from a range of possible pre-fixed actions	
10	signaling selected values			
11	recording performance			
12	changing speed, position, or direction according to measurement			
13	segregation or rejecting according to measurement			
14	identifying and selecting appropriate action			
15	correcting performance after operation	responds with action, modifies own action over a wide range of variation		
16	correcting performance while operating			
17	anticipating requiring performance and adjusting accordingly			

Quelle: Bright (1958: S. 45ff).

Die 17 Stufen von Bright beginnen mit rein manueller Arbeit ohne externe Energiequellen, Werkzeuge oder sonstige maschinelle Unterstützung (Level 1, hand). Mit jeder

<sup>9</sup> Vgl. Ulich (1968, S. 30).

neuen Automatisierungs-Stufe wird ein weiterer Teil des Arbeitsprozesses durch die Maschine übernommen. Die Energie wechselt von manuell auf mechanisch, die Variabilität der Maschinen steigt und sie übernehmen Kontrollfunktionen. Auf der letzten Stufe (Level 17, anticipating requiring performance and adjusting accordingly) steht eine komplexe Maschine, die Datenmuster erkennt und ihr Verhalten entsprechen antizipativ anpasst.

Mit steigendem Automatisierungsgrad wuchs in der Folge auch die Anzahl der Skalierungs- und Systematisierungsansätze. Einen frühen Versuch einer Synopse der Ansätze bis Mitte der 1960er Jahre unternimmt Ulrich (1968). Er analysiert eine Reihe verschiedener Systematiken und hält fest (S. 40f):

*„Der Versuch, die entsprechenden Stufen der einzelnen Verfasser nebeneinander zu stellen und zu einer allgemeinen einheitlichen Skala der Mechanisierung und Automatisierung zu kommen, endet meist etwa nach der vierten Stufe. Die ersten vier Stufen wären dann:*

*Stufe a: Arbeit ohne Werkzeug*

*Stufe b: Arbeit mit Handwerkzeug*

*Stufe c: Arbeit mit Handwerkzeug mit Fremdantrieb*

*Stufe d: Arbeit mit Werkzeug mit Fremdantrieb, das gehalten und geführt ist=Maschine*

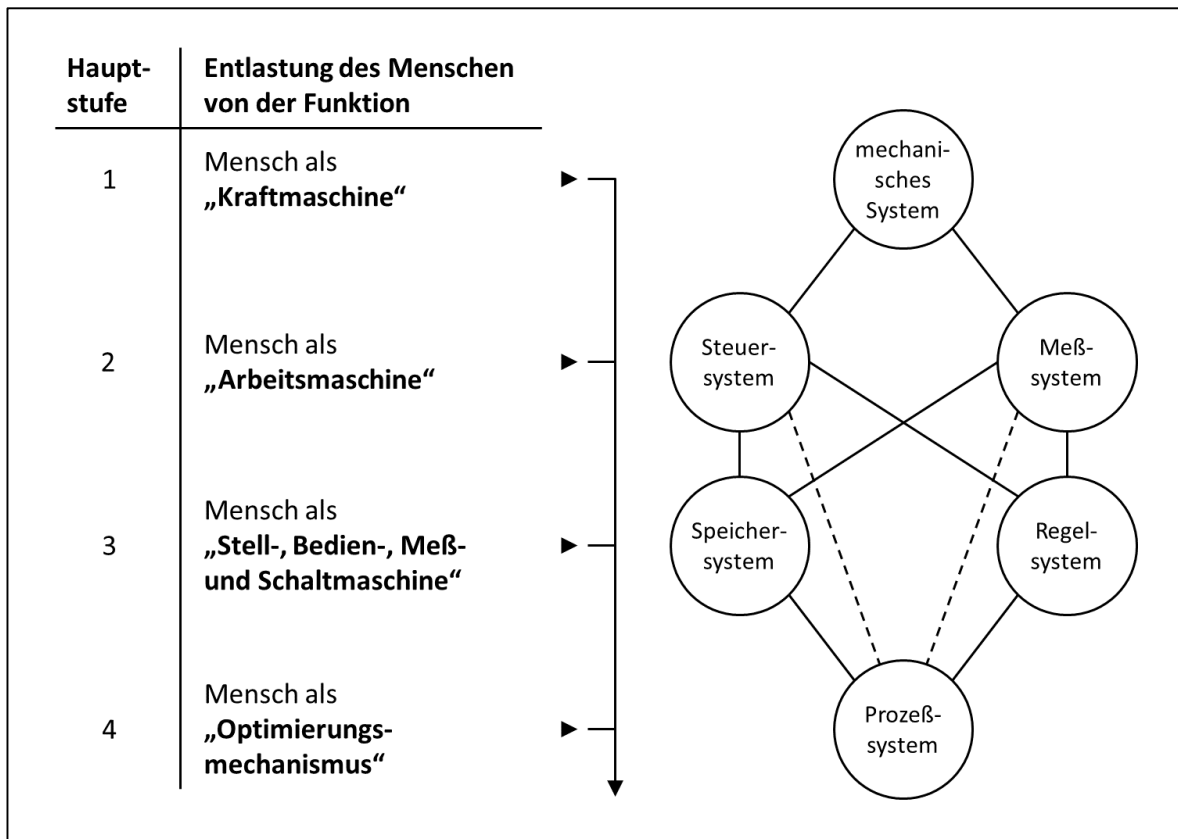
*Ab der vierten Stufe (Stufe d) erfolgt eine Aufgliederung in unterschiedliche Entwicklungsrichtungen. Es wird schwierig, eine Entwicklung gegenüber der anderen hervorzuheben und an sich gleichwertige Vorgänge unterschiedlich einzustufen.*

*[...]*

*Trotz der Vielzahl der Kombinationen und dem Geflecht der Kombinationsmöglichkeiten lassen sich vier Hauptstufen der Entwicklung der Mechanisierung und Automatisierung herauschälen:*



**Grafik 21: Wirkschema der Mechanisierung und Automatisierung bei Ulrich**



Quelle: Ulrich (1968, S. 41)

**Hauptstufe 1:**

*Abnahme des Einsatzes des Menschen als „Kraftmaschine“. In dieser Stufe sind die untersten Mechanisierungsstufen enthalten (z. B. die Stufen a bis d), bei denen in immer stärkerem Maße Werkzeuge und Maschinen eingesetzt werden, mit dem Ergebnis, daß der Mensch als Energiespender und Antriebsaggregat entlastet wird. Der Mensch leistet jedoch noch mechanische Arbeit, indem er Maschinen, Apparate, Geräte und maschinelle Werkzeuge bedient, handhabt, beschickt und bewegt.*

**Hauptstufe 2:**

*Abnahme des Einsatzes des Menschen als „Arbeitsmaschine“. Innerhalb dieser Stufe wird der Mensch beim Hantieren, Bewegen, Greifen, Halten, Ausrichten, Einspannen, Beschicken usw. durch Maschinen und Vorrichtungen ersetzt. Zum mechanischen System treten das Steuersystem und das Meßsystem, wobei Apparate, Geräte und Vorrichtungen die bisherigen Funktionen des Menschen übernehmen.*

### Hauptstufe 3:

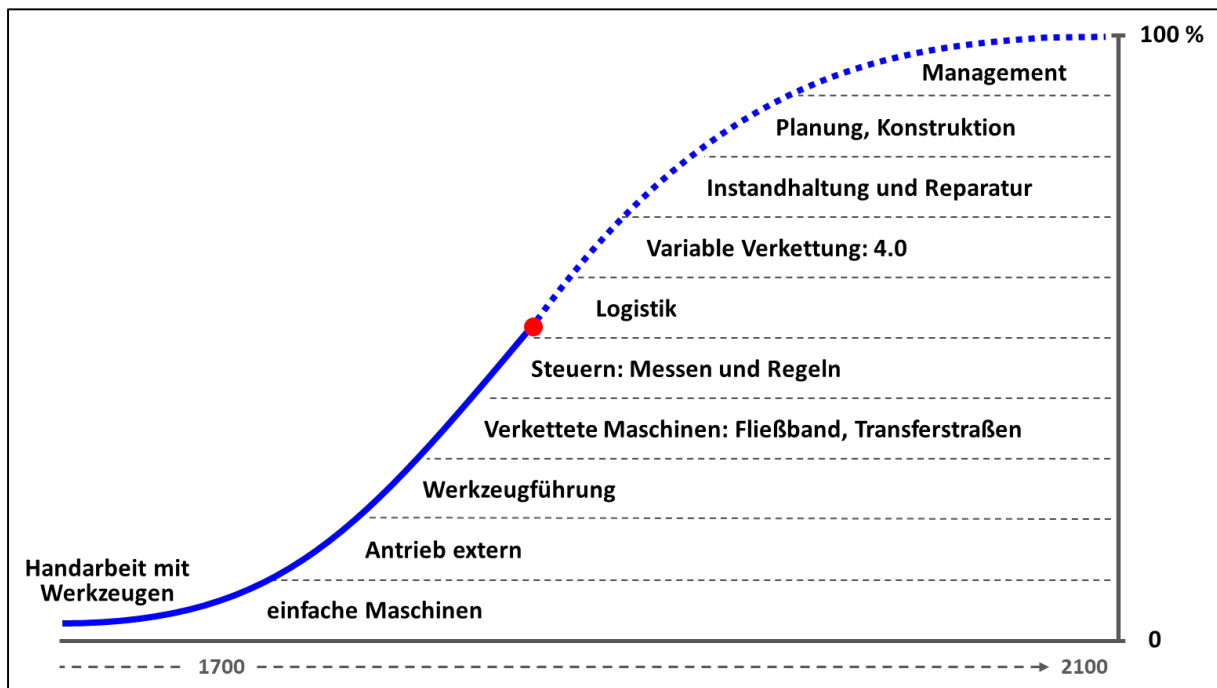
Abnahme des Einsatzes des Menschen als „Stell-, Bedien-, Meß- und Schaltmechanismus“. Nachdem in Stufe 2 die arbeitsintensiven Tätigkeiten des Menschen von der Maschine übernommen wurden, werden innerhalb der 3. Hauptstufe in immer stärkerem Maße Stell-, Bedien-, Meß- und Schalttätigkeiten an Maschinen, Geräte und Apparate übertragen. Durch Aufbau eines Regelsystems aus Steuer- und Meßsystem und eines Speichersystems entfällt für den Menschen die stets wiederkehrende Betätigung von Knöpfen, Stellgliedern, das Handhaben und Ablesen von Meßgeräten usw.

### Hauptstufe 4:

Abnahme des Einsatzes des Menschen als „Optimierungsmechanismus“. Durch Kombination der bisher aufgeführten Systeme wird ein Prozeßsystem entwickelt, das den Menschen auch von Abstimmungs-, Regulierungs- und Dispositionsfunktionen entbindet.“

Dank der technischen Möglichkeiten des 21. Jahrhunderts mit Robotik und KI werden nun auch weitere Bereiche der Wertschöpfung, wie Instandhaltung, Planung und auch Managementfunktionen einer Automatisierung zugänglich, die bei Ulrich in der Hauptstufe 4 bereits angelegt sind. Die Stufen der Automatisierung der materiellen Produktion wären dann:

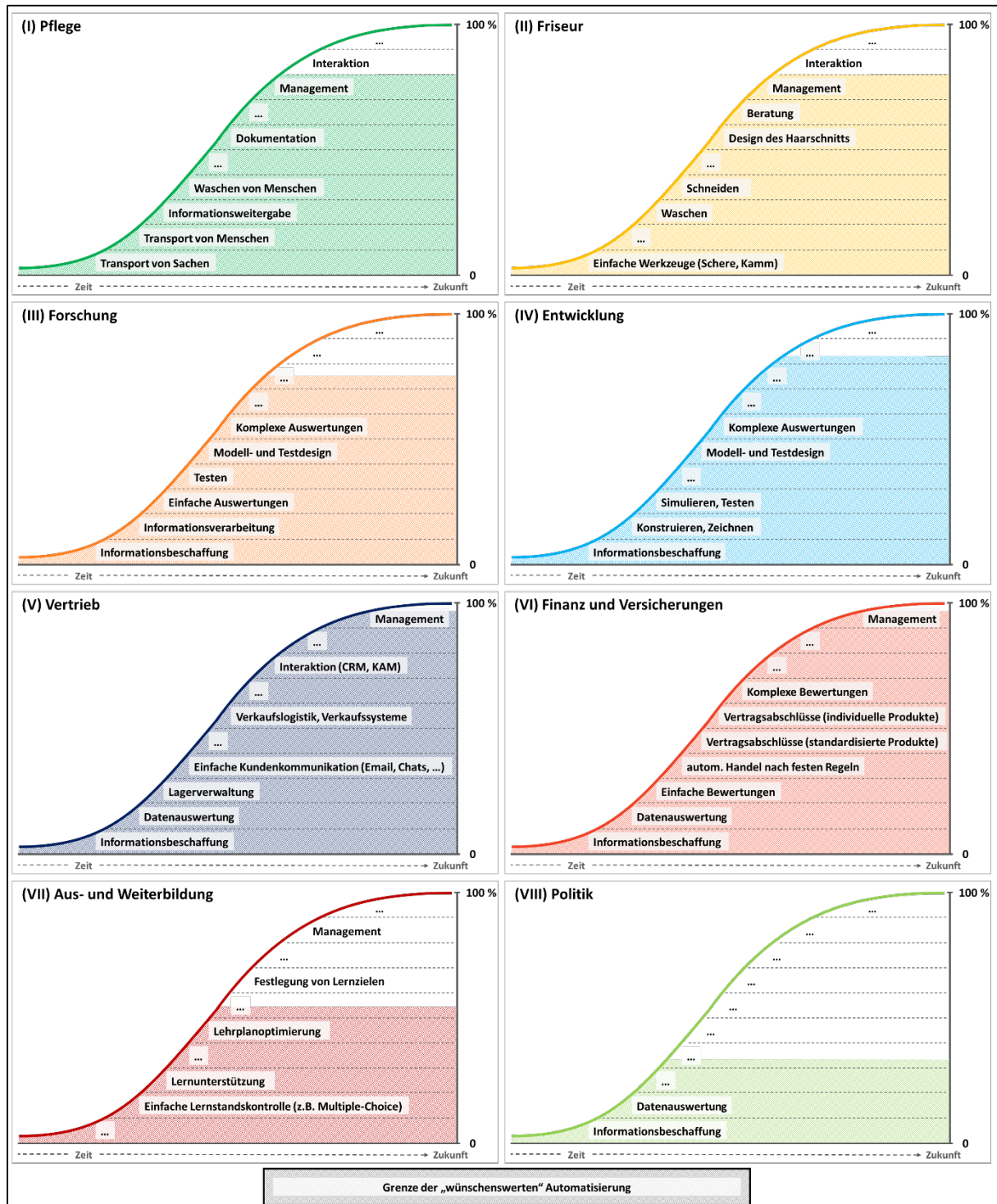
### Grafik 22a: Automatisierungsgrade der materiellen Produktion



Schematische Darstellung.

Dank der Fortschritte bei KI und Robotik werden auch immer mehr Teile der nicht-materiellen Produktion automatisierbar. Aufgrund der Heterogenität der nicht-materiellen Produktion müssen die Automatisierungsgrade hier anders skaliert sein und eine Differenzierung z.B. nach Branchen oder Produktgruppen erfolgen (Grafik 16b).

**Grafik 16b: Automatisierungsgrade der nicht-materiellen Produktion**



Schematische Darstellung.

## 4.2. Ebene der Analyse

Die Automatisierungsstufen der nicht-materiellen Produktion (Grafik 22b) weisen bereits auf eine weitere wichtige Fragestellung der empirischen Analyse hin: Auf welcher **Analyseebene** ist der Automatisierungsgrad sinnvoll empirisch zu erfassen? Insbesondere mit der Ausweitung der Analyse entlang der Wertschöpfungsketten stellt sich diese Frage, da das, was als Wertschöpfungsketten zeitlich nacheinander stattfindet gesamtwirtschaftlich als globales Nebeneinander der Wirtschaftszweige und -sektoren erscheint.

Grundsätzlich kann die Analyse des Automatisierungsgrades auf folgenden Ebenen erfolgen:

- Tätigkeiten
- Arbeitsplätze
- Arbeitssysteme
- Produktgruppen
- Betriebe
- Unternehmen
- Wirtschaftszweige
- Sektoren: Landwirtschaft, Industrie, Dienstleistungen
- Materielle/immaterielle Produktion
- Nationen
- Ländergruppen (z.B. OECD/Nicht-OECD)
- Global

Die Analyse des Automatisierungsgrades geht über eine rein technische Betrachtung der verwendeten Werkzeuge, Verfahren oder Fertigungszeiten hinaus, da die Kontextfaktoren den Automatisierungsgrad erheblich beeinflussen. Bereits Bright (1958) weist darauf hin, dass die Frage der Automatisierung immer im Kontext zu sehen ist. In seinem Buch „Automatisierung an Management“ betrachtet er daher neben der Systematik zur technischen Erfassung des Automatisierungsgrades in 17 Stufen auch den organisationalen Rahmen und diskutiert Implikationen für das Management, u.a. zu Fragen der Vergütung und Qualifizierung der Arbeiter.

Aus diesem Grund sind möglichst technisch-organisatorisch homogene Einheiten zu betrachten. Die vorliegenden Analyse-Ansätze auf Basis von Berufen oder Arbeitsplätzen sind daher wenig überzeugend, da Berufe komplexe Zusammenfassungen unterschiedlichster Tätigkeiten darstellen und sich Berufsbilder verändern. Auch die Analyse von Arbeitsplätzen erscheint wenig zielführend, da diese nur Elemente eines größeren Arbeitssystems sind. Geeignete Ebenen der Analyse wären das Arbeitssystem, Produktgruppen, Betriebe, Nationen und die globale Ebene.

### 4.3 Analyseansätze des IGZA

Zwei Ansätze sollen in der Arbeit des IGZA qualitativ und quantitativ weiterverfolgt werden:

- **Arbeitssystem:** Dies wären z.B. in der Autoindustrie Presswerk, Karobau, Lackiererei, Montage oder Finanzen, Vertrieb, Personal. Die Analyse sollte das gesamte sozio-technische System umfassen, da reine tätigkeitsbezogene Analysen zu kurz greifen. Neben den Menschen und Tätigkeiten stehen also auch die Analyse der Arbeitsorganisation und der Technik sowie des Zusammenspiels der Faktoren im Mittelpunkt.
- **Typische Produkte:** Dies wären z.B. ein Kilo Brot, ein Anzug, ein Fahrrad, eine Tonne Stahl und die zur Herstellung dieser Produkte notwendige Arbeitszeit im Lauf der Jahrhunderte. Hierzu gibt es bereits gute Beispiele, wie das oben genannte zum „Spinnen und Weben“ (Bohnsack 2002), die es historisch zu erweitern und durch andere typische Produkte zu einem historisch tragfähigen Warenkorb zu ergänzen gilt.

Das IGZA erforscht die historische Entwicklung der Automatisierung und ihrer Wirkungen für den ersten der beiden Ansätze exemplarisch am Beispiel der **Textil- und der Automobilindustrie** (Projekt 3 des IGZA). In der **Textilindustrie** hat die industrielle Revolution einen zentralen Ausgangspunkt. Im letzten Drittel des 18. Jahrhunderts begann eine enorme, weltweite Dynamisierung der Entwicklung durch Automatisierung, die zu rasanten Produktivitätssteigerungen führte und sich bis in die Gegenwart fortsetzt. Im 20. Jahrhundert hat die **Automobilindustrie** im Hinblick auf Wachstums- und Innovationsdynamik wie auch im Hinblick auf die Prägewirkung ihrer Konzepte bezüglich der Gestaltung und Arbeit und Technik die Leitrolle übernommen. Über eine Analyse des Fließbandes in der Autoindustrie von Ford River Rouge 1923, über die Produktion des VW-Käfers in Wolfsburg bis zu den Lean Production Programmen und dem Robotereinsatz in der Gegenwart, lässt sich die Entwicklung der Automatisierung und der Produktivität arbeitssystembezogen nachzeichnen.

Als nächste Schritte im Projekt 2 des IGZA soll, dem zweiten Ansatz folgend, die notwendige Arbeitszeit zur Herstellung eines elementaren Warenkorbs, bestehend aus etwa 10 **typischen Produkten oder Produktgruppen** der Konsumtion und Investition (Brot, Hemd, Behausung für eine Person, Reise über eine bestimmte Distanz etc.), im langen historischen Zeitverlauf ermittelt werden. Aus diesen Daten soll der Entwicklungsstand der Produktivität und des dahinterliegenden Automatisierungsgrades erfasst werden.

## Zwischenfazit aus heutiger Sicht

Wo stehen wir heute? Etwa **die Hälfte des Automatisierungspotentials** der materiellen Produktion in den hochentwickelten Industrieländern dürfte ausgeschöpft sein (was zu beweisen wäre).

Bis der überwiegende Teil der materiellen Produktion und der wünschbare Teil der Dienstleistungen weltweit automatisiert sind, dürften nochmals hundert Jahre vergangen sein.

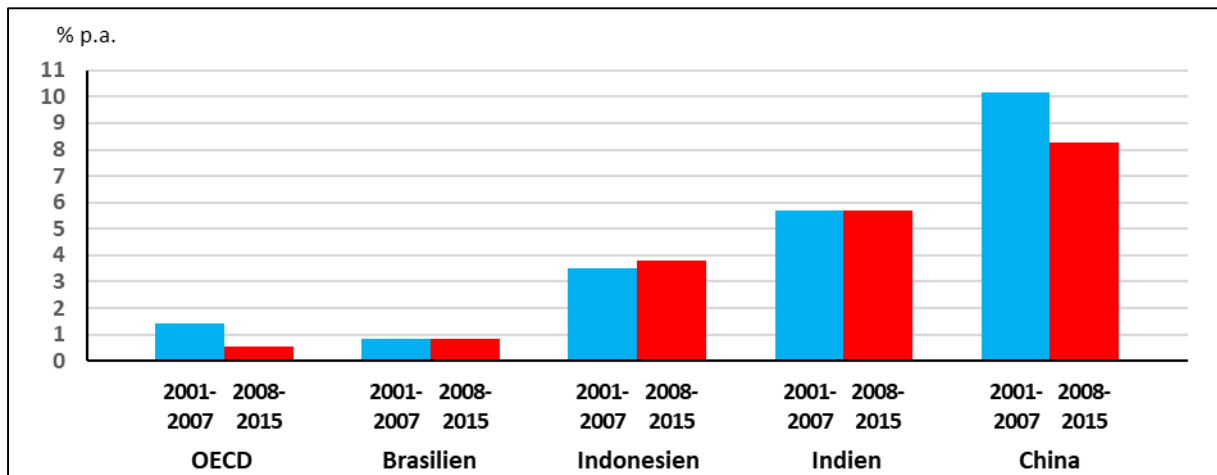
Was den Main-Stream der heutigen Produkten-Welt angeht wäre die „Stagnations-Frage“ damit vorerst beantwortet – jedenfalls was ihre technische Seite angeht. Offen bleibt die Frage nach zwei Produkt-Typen an den heutigen Rändern – den klassischen Hand-Made-Luxus-Gütern und den beinahe-immateriellen Gütern der digitalen Welt. Steigt der Anteil der ersteren, sinkt die gesamtwirtschaftliche Produktivität, steigt der Anteil der letzteren steigt sie – durch geringen bis verschwindenden Produktions- und Verteilungsaufwand der Software-Komponenten. Für die Dienstleistungen hingegen dürfte ein ähnlicher Trend von Produktivitätssteigerungen gelten wie in der materiellen Welt, allerdings mit längerfristig höherem Residualaufwand an menschlicher Arbeit, teils technisch bedingt, teils von den Menschen so gewollt (persönliche Dienstleistungen, Erziehung, kreative Arbeit, Staat).

Landwirtschaft und Industrie, d.h. die materielle Produktion ist längerfristig beinahe beliebig der Voll-Automatisierung annäherbar; die Frage ist vor allem, wieviel hoch-attraktive erfüllende Tätigkeiten möglich wären und wieviel hand-made handwerklich-künstlerische Produkte gewünscht sind. Bei den Dienstleistungen sind vor allem die Reichweite der KI und der Wunsch nach direkt menschlicher Interaktion bestimmend.

Ein gemeinsames Merkmal vieler Debattenbeiträge ist die Konzentration auf hochentwickelte Länder, also quasi die OECD-Länder (vgl. bspw. Summer 2014, Gordon 2015, Herzog-Stein et al. 2017). Für die Reichweite und Tragweite möglicher Folgerungen ist es von Bedeutung, diesen engen Blick zu erweitern.

Das Abflachen des Produktivitätswachstums, wie des Wachstums insgesamt, ist quasi „natürlich“ zunächst ein Phänomen der hochentwickelten Länder. In Asien dagegen, allen voran China, sind die Zuwachsraten des BIP je Erwerbstätigem deutlich höher.

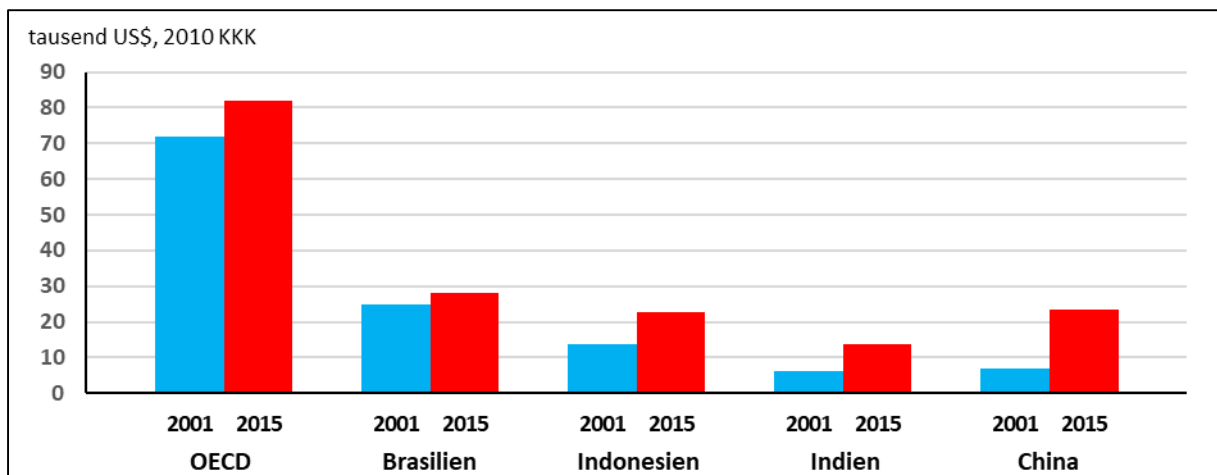
**Grafik 23: Wachstum der Arbeitsproduktivität in OECD und Schwellenländern, in % p.a.**



Daten: OECD Productivity Statistics (database), GDP per person employed, percentage change at annual rate

Die jährliche *Wachstumsrate* des BIP je Erwerbstätigem liegt in der OECD seit 2001 unter 2%, seit 2008 sogar knapp unter 1%. In den Schwellenländern sind die Zuwachsraten deutlich höher. China und Indien, zuletzt auch Indonesien, wachsen um 5-10%.

**Grafik 24: Niveau der realen Arbeitsproduktivität in OECD und Schwellenländern, in 1.000 US-Dollar 2010 KKK**



Daten: OECD Productivity Statistics (database), GDP per person employed, constant US-dollar 2010 PPPs.

Umgekehrt sieht das Bild beim *Niveau* aus. Im Vergleich der Produktivitätsniveaus Grafik 24), zeigt sich der große Abstand, der trotz der Wachstumsunterschiede nach wie vor zwischen den entwickelten Ländern der OECD und den Schwellenländern besteht.<sup>10</sup> So

<sup>10</sup> Besser wäre der Vergleich des *BIP je Arbeitsstunde*. Aufgrund der mangelnden Verfügbarkeit zuverlässiger Daten ist dies aktuell nicht möglich, sodass hilfsweise das *BIP je Erwerbstätigem* als Vergleichsgröße ver-

lag das BIP je Erwerbstätigem in den OECD-Ländern im Durchschnitt bei 80.000 US-Dollar im Jahr 2014, während die Schwellenländer sich eher im Bereich von 3.000 bis 20.000 US-Dollar bewegen.

Eine Debatte um aktuelle und zukünftige Wachstumspotentiale der Produktivität, die sich nur auf die entwickelten Länder beschränkt, verschließt jedoch den Blick vor den globalen Realitäten.

Zum einen erhöhen die Produktivitätszuwächse der Schwellenländer den **globalen Durchschnitt des Produktivitätswachstums**.

Zum anderen gibt es **Folge-Effekte**. Erstens kann das Wachstum der Schwellenländer nachfragesteigernd auf die Exporte der OECD-Länder wirken, wodurch in diesen Ländern die Arbeitskräftenachfrage steigt. Zweitens können technische Innovationen, veränderte Materialien oder Produktionsverfahren, die in den Schwellenländern entstehen und die dortige Produktivität verbessern in der Folge auch in den Volkswirtschaften der entwickelten Länder zum Einsatz kommen und damit zum Wachstum deren Produktivität beitragen.

---

wendet wird. Beim Vergleich des BIP je Erwerbstätigem zwischen hochentwickelten und weniger entwickelten Volkswirtschaften sind jedoch zwei Differenzierungen zu beachten: (1) Erstens wachsen BIP je Erwerbstätigen oder auch je Bevölkerungsmitglied besonders schnell, wenn die Arbeitszeit je Erwerbstätigem konstant ist oder sogar vorübergehend steigt bzw. zusätzlich die Zahl der Erwerbstätigen je Bevölkerungsmitglied steigt. Beides ist in den ‚reiferen‘ Gesellschaften nicht mehr der Fall, hier nimmt die Arbeitszeit je Tätigem eher ab und wächst der Anteil der Nicht-Erwerbstätigen, insbesondere durch den steigenden Anteil der Älteren. (2) Zweitens dürfte auch ein gewisser ‚Sättigungs-Effekt‘ wirken. Wie bei der effektiven gesamtwirtschaftlichen Nachfrage, wo höhere Sparquoten Konsum und Wachstum bremsen, verstärkt durch ungleiche Verteilungsverhältnisse, dürfte die Produktivitätsentwicklung durch abnehmende Grenzwirkungen bei immer höherem Produktivitätsniveau geprägt sein: Die Steigerung des Automatisierungsgrads wird ähnlich der Beschleunigung einer Masse mit Annäherung an den Grenzwert immer schwieriger (siehe unten: S. 20ff.).



## 5. Ausblick

Die Produktivität hat im vierten Jahrtausend v. Chr. nach einer 'Anlauf'-Phase der Agrikultur einen ersten Schub erhalten: Bewässerungssysteme, Erfindung des von Tieren gezogenen Pfluges, die Metalle (erst Bronze, dann Eisen), Rad und Wagen, Schrift und Mathematik, Spezialisierung von Berufen ermöglichten eine Mehr-Produktion weit über den Grundbedarf der Bauern und Hirten hinaus.

Dieses Mehrprodukt wurde zur Grundlage sozialer Differenzierung: Gutsherren, Priester, Soldaten, Könige, Pharaonen, Kaiser bildeten eine neue Hierarchie. Beinahe fünftausend Jahre (ca. 3000 v. Chr. bis ca. 1900 n. Chr.) wurde die Surplus-Produktion vom Adel konsumiert und hin und wieder in Beutezüge investiert.

Die Produktivität entwickelte sich nach dem Dreitausender-Schub nur langsam bis mit dem neuen Geist des Bürgertums Innovation und Erfindergeist, Investition und Akkumulation, Arbeitsamkeit und Gewinnstreben die industrielle Revolution und eine historisch einzigartige Explosion der Produktivität auslösten. Der gewaltige Anstieg des Bruttoinlandsproduktes (BiP) je Stunde und je Kopf seit 1800 ist der 'technisch-wissenschaftlichen Revolution', der Nutzung fossiler Energie-Ressourcen, dem Fleiß und Können zunehmend qualifizierter Arbeitskräfte, dem innovativ-sparsam-gewinnorientierten Unternehmertum und den kolonialen Beutezügen zu verdanken.

Die kapitalistische Produktionsweise hat mit der Produktivitätsexplosion einen großen Wohlstandsschub ermöglicht - zunächst in den entwickelten Ländern. Mit der weiteren Automatisierung auch der immateriellen Produktion, Digitalisierung und Globalisierung, weiterem wissenschaftlichen und technischen Fortschritt und starker Verkürzung der Arbeitszeit besteht die Möglichkeit einer „zweiten Halbzeit“ dieser Entwicklung: hin zu einer weitgehenden Lösung des 'Knappheits-Problems', der Beseitigung von Hunger, Armut und Analphabetismus, einer 'guten Arbeit' und 'einem guten Leben' am Horizont des 21. Jahrhunderts.

**Sowohl die Entwicklung in den entwickelten OECD-Ländern als auch in fast allen Teilen der 'restlichen' ¾ der Welt zeigt jedoch mittlerweile, dass wir – gemessen am Produktivitäts-Potential – unter unseren Möglichkeiten leben.**

Wird das ökonomisch-soziale System des Kapitalismus das Potential ausschöpfen können oder wird es zunehmend durch ungleiche Einkommensverteilung, unzureichende Qualifikation und ungelöste Nachhaltigkeit der Wirtschaft zu einem – wie Gordon es ausdrückt – 'Head Wind'?

Das alles durchdringende Markt-Konkurrenz-Rendite-Prinzip hat mittlerweile zu einer immer weiter und tiefergehenden Kommerzialisierung und Kommodifizierung geführt, die sich im verselbständigten, der Real-Sphären enthobenen globalen System der Finanzmärkte und Hedge-Fonds immer mehr der nationalen und überhaupt gesellschaftlichen Kontrolle entzieht.

Auch die EU ist ambivalent: zur einen Hälfte soziale Demokratie, zur anderen von Finanzmärkten, Kapitalinvestoren und Bürokratie getrieben. Die Menschen spüren diese anonyme Macht und verlangen deshalb nach nationaler Orientierung und Geborgenheit der Heimat.

Wird es eine kontinuierliche Weiterentwicklung der Produktivität zu mehr materiellem und Zeit-Wohlstand für Alle geben? Oder fällt der innovative Wettbewerb in einen destruktiven Konkurrenzkampf der nationalen Kapitale zurück ('America First')?

Welches der drei großen Regulationsmodelle ist zukunftsfähig, welches sind die günstigsten sozial-ökonomischen Rahmenbedingungen für eine Weiterentwicklung der Produktivität der menschlichen Arbeit?

Ist es der

- 'rugged-individualism' der U.S.-amerikanischen Wirtschafts- und Gesellschaftsordnung,
- der besondere Chinesische Weg eines Hybrid-Systems aus Markt-Kapitalismus und Staats-Sozialismus,
- oder bietet eine Weiterentwicklung der europäischen 'sozialen Marktwirtschaft', einer Verbindung von kapitalistischer Produktionsweise, Sozialstaat und Demokratie die besten Entwicklungschancen?

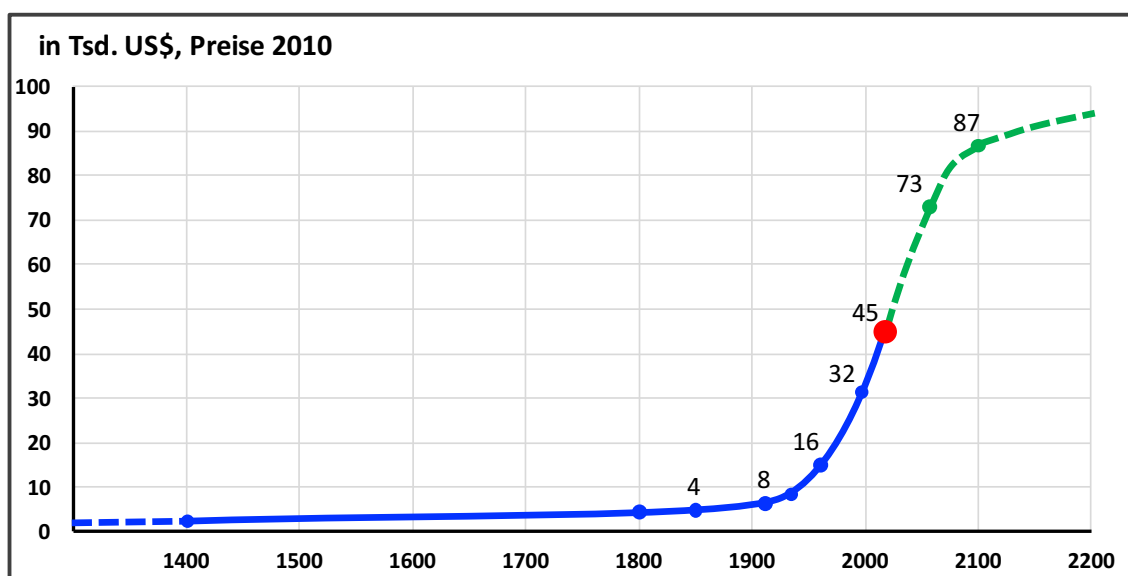
## Zusammenfassung

Folgende Thesen wurden in diesem Papier entwickelt:

**In den vergangenen 200 Jahren fand die „erste Hälfte“ einer tiefgreifenden technisch-wissenschaftlichen Revolution statt.**

1. Seit etwa Ende des 18. Jahrhunderts erlebt die Welt eine historische einmalige Phase des Produktivitätswachstums.

**Grafik 25: Produktivität (BIP je Kopf) nach Gordon**



Blau, tatsächliche Werte UK und USA; grün, Fortschreibung von Gordon.

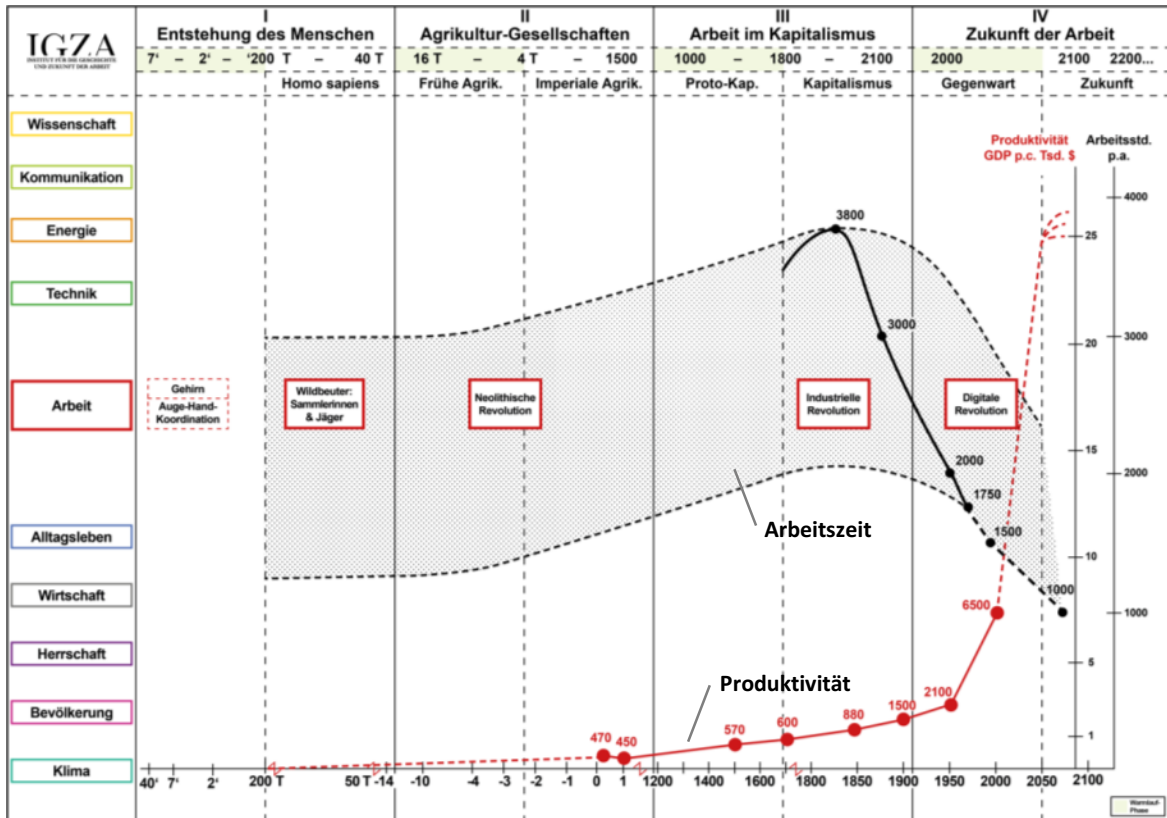
Quelle: Gordon (2013), S.6.

Die technisch-wissenschaftlichen Revolution ging mit einer Explosion der Produktivität einher. Nachdem die Produktivität über Jahrhunderte nur langsam gewachsen ist, beginnt mit dem Durchbruch der technisch-wissenschaftlichen Revolution ein menschheitsgeschichtlich einmaliger Produktivitätsschub von zwei bis drei Prozent pro Jahr oder einer Verdopplung alle 30 Jahre, der um etwa 1800 startet und bis heute anhält.

Theoretisch spricht nichts dagegen, dass die Produktmenge je Arbeitszeit weiter mit konstanten Zuwachsraten steigen wird. Praktisch ist jedoch ein Abflachen der relativen Zuwächse zu erwarten. Zum einen sind nicht alle Teile einer Wertschöpfungskette bzw. eines Industriezweigs einer Automatisierung gleich „einfach“ zugänglich, sodass sich der Zeitraum der Erschließung dieser Bereiche verlängert. Zum anderen gibt es - insbesondere bei sozialen, kreativen oder innovativen Dienstleistungen - Grenzen dessen, was wünschenswerterweise automatisiert werden soll.

2. Der rasante Anstieg der Produktivität ist die Basis für Wohlstand und Freiheit der Lebensgestaltung (Arbeitszeitverkürzung, gestiegene Lebenserwartung).

**Grafik 26: Entwicklung von Arbeitszeit und Produktivität**



Zeittafel des IGZA. Daten: Maddison (2007)

In Deutschland hat sich der Output je Arbeitsstunde seit 1870 etwa verzwanzigfacht. Diese Explosion der Produktivität führte einerseits zu einem massiven Anstieg des Lebensstandards, das BIP/Kopf hat sich im gleichen Zeitraum verzehnfacht, als auch zu einer Halbierung der Arbeitszeit von durchschnittlich 2.800 auf 1.400 Stunden im Jahr in Deutschland.

**Tabelle 1: Historische Entwicklung in Deutschland**

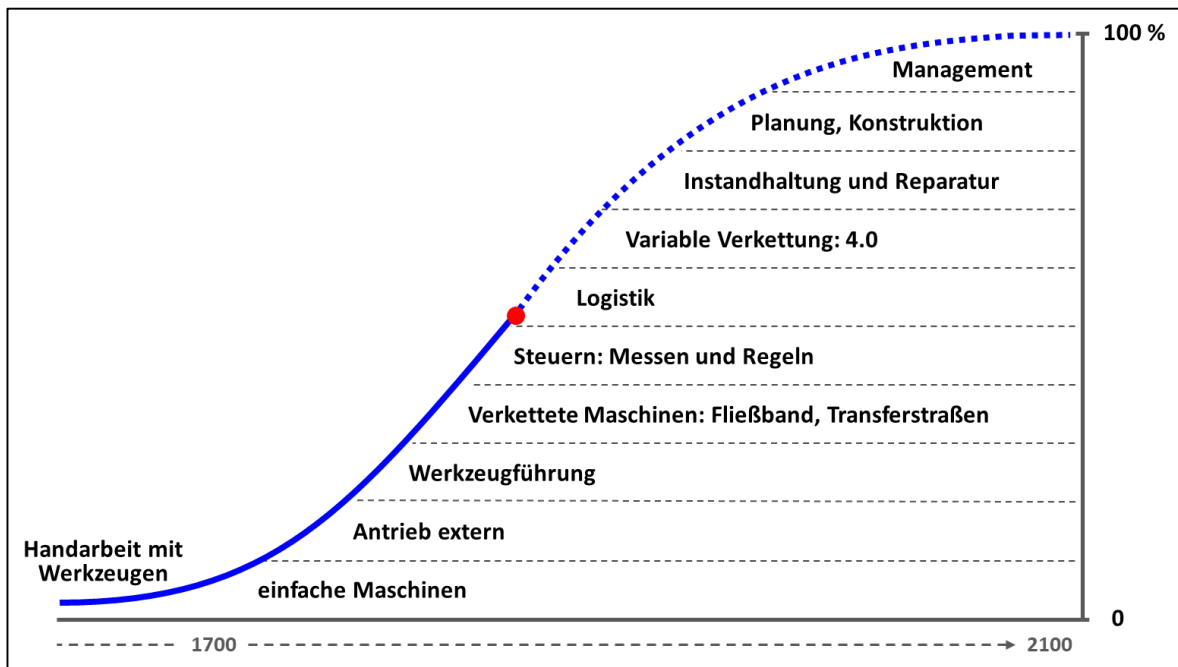
	1870 - 2015
BIP	x 20
Bevölkerung	x 2
BIP/Einwohner	x 10
durchschnittliche Jahresarbeitszeit	x 0,5
BIP/Arbeitsstunde	x 20

Quelle: Maddison (2007). Eigene Berechnungen.

## Die „zweite Hälfte“ der Entwicklung steht uns noch bevor.

3. In den entwickelten Volkswirtschaften ist heute ein Automatisierungsgrad von etwa 50 Prozent erreicht. Diese Entwicklung wird weitergehen bis vielleicht 90 Prozent der materiellen Produktion und der wünschbare Teil der Dienstleistungen weltweit automatisiert sind.

**Grafik 27: Automatisierungsgrad**

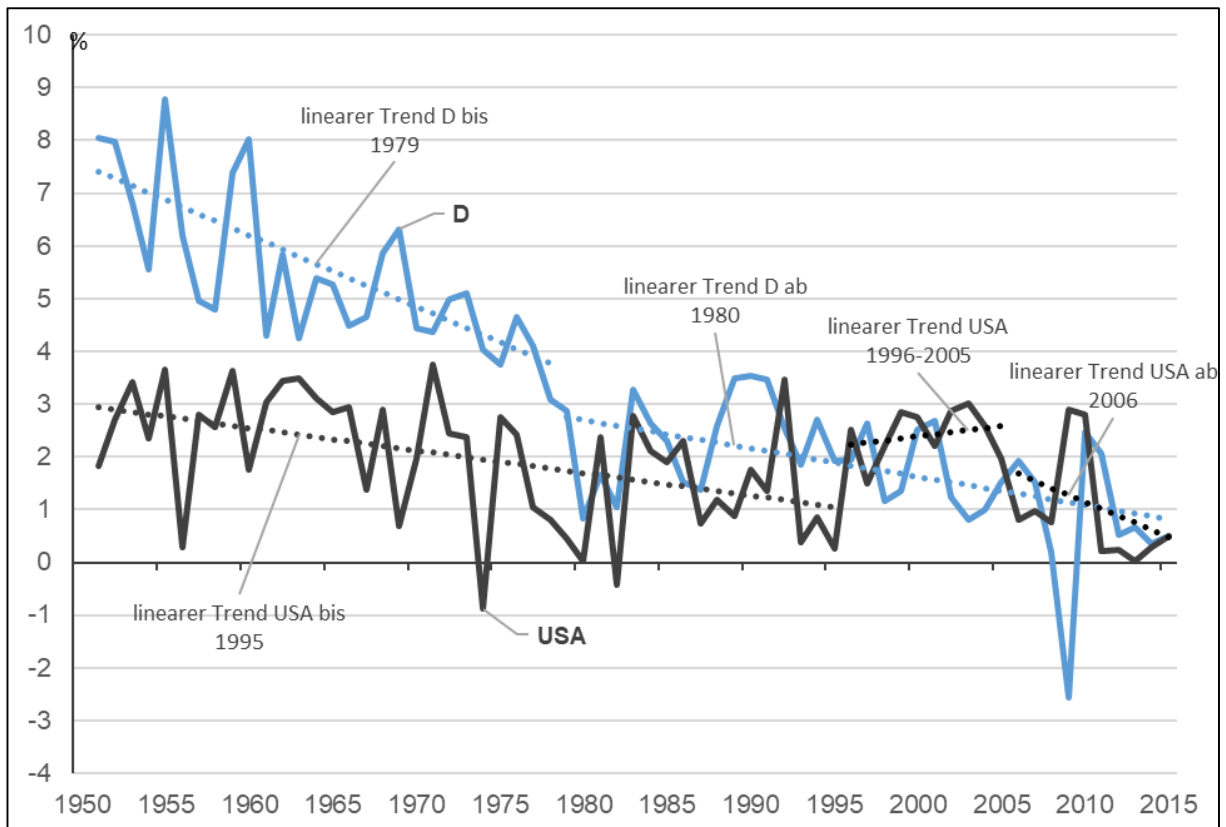


Schematische Darstellung.

Die aktuellen technischen Entwicklungen ermöglichen einen weiteren Automatisierungsschub der materiellen Produktion und umfassen zudem bisher einer Automatisierung unzugängliche Teile der Dienstleistungen.

4. Das Abflachen der relativen Wachstumsraten ist ein genereller Trend in den OECD-Ländern seit 1970.

**Grafik 28: BIP je Erwerbstätigenstunde, jährliche Veränderung in %**

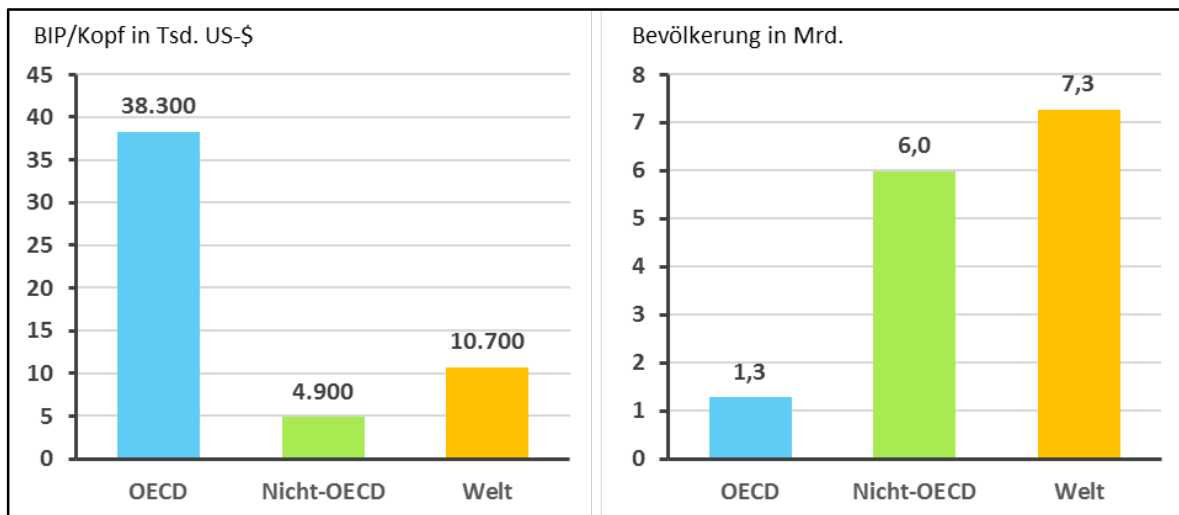


Quelle: 1970-2015: OECD Statistics on Productivity and ULC - Annual, Total Economy;  
1950-1969: The Conference Board Total Economy Database.

Der in der aktuellen Debatte vielfach postulierter „Trendbruch“ der Produktivitätsentwicklung in den letzten Jahren übersieht den langfristigen Trend und unterschätzt die Automatisierungspotentiale. Zum einen gibt es seit 1970 einen längerfristigen Trend abflachender relativer Zuwächse (bei hohem absoluten Niveau), der in den USA durch eine besondere Wachstumsphase zwischen 1996 und 2005 nach oben unterbrochen wurde, sodass die aktuelle Phase keinen „Bruch“ darstellt. Zum anderen erschließen Digitalisierung und Industrie 4.0 neue Automatisierungspotentiale für weiteres Produktivitätswachstum in den OECD-Ländern in den kommenden Jahren.

5. Die Nicht-OECD-Länder bergen ein riesiges Wachstumspotential.

**Grafik 29: BIP pro Kopf und Bevölkerung, 2014**



Quelle: Weltbank.

Das BIP/Kopf der entwickeltsten Länder liegt heute etwa achtmal so hoch wie in den Nicht-OECD-Ländern. Die OECD-Länder stehen aber nur für ca. 1/7 der Weltbevölkerung, d.h. 6/7 haben noch große Wachstumsperspektiven vor sich, so dass mit einer Stagnation, bezogen auf die Weltwirtschaft, nicht zu rechnen ist.

6. Der Menschheit eröffnet sich die Chance für Wachstum des Lebensstandards, für kürzere Arbeitszeiten und attraktivere Arbeit, wenn es gelingt, die immensen globalen und nationalen Produktivitätspotentiale zu realisieren.

Dazu bedarf einer gesellschaftlichen Debatte zum Umgang mit der Automatisierung und Digitalisierung. Welche Arbeiten in der materiellen Produktion und welche Dienstleistungen sollen als Gute Arbeit vom Menschen gemacht werden und was wird automatisiert? Und wie lange wollen wir arbeiten, in der Woche und im Verlauf eines Arbeitslebens? So kann ein Teil des Produktivitätsgewinns für eine weitere Verkürzung der jährlichen Arbeitszeit verwendet werden.

Ausgehend vom technisch-wissenschaftlichen Fortschritt der letzten 200 Jahre und angesichts der aktuellen Verbesserung bei künstlicher Intelligenz und Robotik scheint es letztlich eine Frage der Zeit zu sein bis sowohl in der materiellen Welt von Landwirtschaft und Produktion als auch bei den Dienstleistungen der Ersatz menschlicher Arbeit durch ‚intelligente Maschinen‘ technisch möglich sein wird.

Die Gestaltung der Arbeit im Sinne der Menschen ergibt sich nicht aus der Technik. Nicht alles, was technisch möglich ist, muss auch tatsächlich automatisiert werden. Es erfordert Gestaltungswille, Werte und hohe Ansprüche an Arbeit, die Arbeits- und Produktionssysteme so zu gestalten, dass eine interessante, gute, qualifizierte Arbeit ermöglicht wird.

Die verbleibenden zehn Prozent menschlicher Tätigkeit in einem automatisierten Produktionssystem sollten der Fachkompetenz und Berufserfahrung, dem Gestaltungswillen und Wunsch nach Autonomie und Verantwortung der Beschäftigten Rechnung tragen.

Eine Arbeitsteilung zwischen ‚intelligenten Maschinen‘, die schwere, belastende körperliche und monotone, serielle geistige Aufgaben übernehmen, und Menschen, die die verbleibende identitätsstiftende, interessante und qualifizierte Arbeit übernehmen ist wünschenswert. Im produzierenden Bereich (Landwirtschaft, Industrie, Handwerk, Verkehr) sind dies beispielsweise unternehmerische Initiative, Management, Ingenieurs- und Facharbeit, hinzu kommen Wissenschaft (Forschung), kreative Arbeit (Kunst, Kultur) und die Arbeit für Menschen: Erziehung, Bildung, Gesundheit, Rechtsstaat, Medien, Politik.

Schließlich stellt sich die Frage nach der Zukunft der kapitalistischen Produktionsweise. **Wir leben heute – gemessen am Produktivitäts-Potential – unter unseren Möglichkeiten.**

Sind die von Gordon genannten ‚Head Winds‘ – ungleiche Einkommensverteilung, fehlende Qualifikation, ungelöste Nachhaltigkeit – tief ‚system-immanent‘ oder lassen sie sich durch eine Einhegung der Wirtschaft durch Politik und Gesellschaft, des Rendite-Strebens durch soziale und ökologische Verantwortung auflösen?

Welcher der drei großen Regulationspfade wird die Entwicklung von Innovation und Verantwortung, guter Arbeit und gutem Leben am besten befördern:

- der ‚rugged individualism‘ des US-amerikanischen marktradikalsten Modells,
- der Chinesische Weg eines Hybrids aus Markt-Kapitalismus und Staats-Sozialismus,
- oder die europäische Verbindung von kapitalistischer Marktwirtschaft, Sozialstaat und Demokratie?



## Literaturverzeichnis

- Abramovitz, M. (1956) *Resource and Output Trends in the US Since 1870*, American Economic Review, Vol. 46, May, pp. 5-23.
- Abramovitz, M. (1993). *The Search for Sources of Growth: Areas of Ignorance, Old and New*. Journal of Economic History, 53(2), S. 217-243.
- Aepfel, T. (2015). *Silicon Valley Doesn't Believe U.S. Productivity Is Down*. Wall Street Journal, July 17, sec. US
- Ahmad, N. & Schreyer, P. (2016). *Measuring GDP in a Digitalised Economy*, OECD Statistics Working Papers, 2016/07, OECD Publishing, Paris.
- Baumol, W. (2012). *The Cost Disease. Why Computers Get Cheaper and Health Care Doesn't*, New Haven: Yale University Press.
- Baumol, W. J. & Bowen, W. G. (1966) *Performing Arts: The Economic Dilemma*, New York: The Twentieth Century Fund.
- Bohnsack, A. (2002). *Spinnen und Weben - Entwicklung von Technik und Arbeit im Textilgewerbe*. Rasch, Bramsche.
- Braconier, H., Nicoletti, G. & Westmore, B. (2014). *Policy Challenges for the Next 50 Years*. OECD Economic Policy Paper No. 9. OECD Publishing, Paris.
- Bresnahan, T. & Trajtenberg, M. (1995). *General purpose technologies 'Engines of growth'?*, Journal of Econometrics 65(1): 83–108
- Brigh, J. R. (1958). *Automatisierung and Management*. Harvard University, Boston.
- Brynjolfsson, E., McAfee, A. (2014) *The Second Machine Age - Work, Progress, and Prosperity in a Time of Brilliant Technologies*.
- Byrne, D. M., Fernald, J. G., & Reinsdorf, M. B. (2016). *Does the United States have a productivity slowdown or a measurement problem?* Brookings Papers on Economic Activity, 2016(1), 109-182.
- Byrne, D. M., Oliner S. D. & Sichel D. E. (2013). *Is the Information Technology Revolution Over?* International Productivity Monitor, 25: 20-36.

Christensen, P., Gillingham, K. & Nordhaus, W. (2016) *Uncertainty in Forecasts of Long-Run Productivity Growth*. 19th Annual Conference on Global Economic Analysis, Conference Paper. GTAP Resource #5074, Washington.

Clark, C. (1957 [1940]). *The Conditions of Economic Progress*. Third Edition, MacMillan, London.

Coyle, D. (2014). *GDP- a brief but affectionate history*. Princeton University Press, Princeton and Oxford.

Diebold, J. (1952). *Automation: The advent of the automatic factory*. D. van Nostrand, New York.

Dullien, S. & van Treeck, T. (2012). *Ziele und Zielkonflikte der Wirtschaftspolitik und Ansätze für einen neuen sozial-ökologischen Regulierungsrahmen*, WISO Diskurs, Abteilung Wirtschafts- und Sozialpolitik, Friedrich-Ebert-Stiftung, Bonn

Eickelpasch, A. (2012): *Industriennahe Dienstleistungen. Bedeutung und Entwicklungspotenziale*. Expertise im Auftrag der Friedrich-Ebert-Stiftung. Bonn.

Felipe, J. (1997): "Total Factor Productivity Growth in East Asia: A critical survey", EDRC Report Series No.65 Fernald, J. (2014). *Productivity and Potential Output Before, During, and After the Great Recession*. NBER Working Paper No. 20248.

Fourastié, J. (1954). *Die große Hoffnung des zwanzigsten Jahrhunderts*. Köln: Bund-Verlag.

Gordon, R. J. (2013). *IS U.S. Economic Growth over? Faltering Innovation Confronts the Six Headwinds*. NBER Working Paper 18315.

Gordon, R. J. (2016). *The Rise and Fall of American Growth – The U.S. Standard of Living since the Civil War*. Princeton University Press, Princeton.

Harder, D. S., & Davis, D. (1953). *The Automatic Factory?* (No. 530060). SAE Technical Paper.

Harder, S. (1955). *Automation*. The Michigan Technic, Feb. 1955, S. 11, 26, 27, 32, 34, 38, 46.

Hartwig, J./ Krämer, H. (2017): *Zwischen Hoffnungsträger und Spielverderber: der Beitrag von Dienstleistungen zum Produktivitätswachstum*, in: Wirtschaftsdienst, 97. Jahrgang, Heft 2, S. 99-102.

Hatzius, J. & Dawsey, K. (2015). *Doing the Sums on Productivity Paradox v2.0*. Goldman Sachs U.S. Economics Analyst, No. 15/30.

Hausman, J. (1999). *Cellular Telephone, New Products, and the CPI*. Journal of Business and Economic Statistics 17 (2): 188–94.

Herzog-Stein, A., Friedrich, B., Sesselmeier, W., & Stein, U. (2017). *Wachstum und Produktivität im Gegenwind: Eine Analyse der Argumente Robert Gordons im Spiegel der deutschen Produktivitätsschwäche* (No. 124). IMK Report.

Hounshell, D. A. (2000): *Automation, Transfer Machinery, and Mass Production in the US Automobile Industry in the post-World War II Era*. In: Enterprise & Society: The International Journal of Business History 1 (1): 100-138.

Krämer, H. (2015). Baumol's Disease und unternehmensbezogene Dienstleistungen. *Messung der Produktivität innovativer und wissensintensiver Dienstleistungen*. Fraunhofer Verlag, Stuttgart, 157-179.

Krugman, P. (2014). *Four observations on secular stagnation*. Secular stagnation: Facts, causes and cures, 61-68.

Maddison, A. (2007). *Contours of the world economy 1-2030 AD: Essays in macro-economic history*. Oxford University Press.

Mokyr, J. (1990). *The Lever of Riches: Technological Creativity and Economic Progress*. New York, Oxford University Press.

Mokyr, J. (2014). *Secular stagnation? Not in your life*. Secular stagnation: Facts, causes and cures, 83.

Nordhaus, W. (2016). *Why Growth Will Fall*. The New York Review of Books. Issue 2018, 08-16.

OECD (2014). *OECD Economic Outlook*, Vol. 2014/1, OECD Publishing.

OECD (2015). *The future of productivity*, OECD-Publishing, Paris.

Oulton, N. (2001): *Must the Growth Rate Decline? Baumol's Unbalanced Growth Revisited*. Oxford Economic Papers 53, 4, S. 605–627.

Prognos (2014). *Deutschland Report*, Prognos AG, Basel – München.

Pursell, C. (2007). *Technology in Postwar America: A History*. Columbia University Press.

Sachverständigenrat zur Beurteilung der Gesamtwirtschaftlichen Entwicklung (2015). *Zukunftsfähigkeit in den Mittelpunkt*. Jahresgutachten 2015/16 (No. 2015/16). Jahresgutachten, Sachverständigenrat zur Begutachtung der Gesamtwirtschaftlichen Entwicklung.

- Sahlins, M. (1998). *The original affluent society. Limited Wants, Unlimited Means: A Hunter-Gatherer Reader on Economics and the Environment*. Island Press, Washington, DC.
- Schettkat, R.; Yocarini, L. (2006): *The shift to services employment: A review of the literature*. *Structural Change and Economic Dynamics* 17, 2, S. 127–147.
- Sensch, J. (1847-2002 [2004]). *histat-Datenkompilation online: Geschichte der deutschen Bevölkerung seit 1815*. GESIS Köln, Deutschland ZA8171 Datenfile Version 1.0.0.
- Statistisches Bundesamt (2015). *Bevölkerung Deutschlands bis 2060 - 13. koordinierte Bevölkerungsvorausberechnung*, Wiesbaden.
- Summers, L. H. (2014). *US economic prospects: Secular stagnation, hysteresis, and the zero lower bound*. *Business economics*, 49(2), 65-73.
- Summers, L. H. (2015) *Demand Side Secular Stagnation*, *American Economic Review, Papers & Proceedings*, Vol. 105, No.5, pp. 60-65.
- Syverson, C. (2013). *Will History Repeat Itself? Comments on 'Is the Information Technology Revolution Over?'* *International Productivity Monitor*, 25: 37-40.
- Syverson, C. (2016). *Challenges to mismeasurement explanations for the US productivity slowdown* (No. w21974). National Bureau of Economic Research.
- Ulrich, E. (1968). *Stufung und Messung der Mechanisierung und Automatisierung*. Sonderdruck aus: *Mitteilungen aus der Arbeitsmarkt- und Berufsforschung* Mai 1968 Heft 2 / Juli 1968 Heft 3.
- Van Ark, B. (2016) *The Productivity Paradox of the New Digital Economy*, *International Productivity Monitor*, No. 31, Fall, pp. 3-18.
- Wanger, S. (2013). *Arbeitszeit und Arbeitsvolumen in Deutschland – Methodische Grundlagen und Ergebnisse der Arbeitszeitrechnung*. In: *Wirtschafts- und Sozialstatistisches Archiv*, Bd. 7, Nr. 1-2, S. 31–69.
- Wanger, S., Weigand, R. & Zapf, I. (2014). *Revision der IAB-Arbeitszeitrechnung 2014 - Grundlagen, methodische Weiterentwicklungen sowie ausgewählte Ergebnisse im Rahmen der Revision der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnungen*. IAB-Forschungsbericht 9/2014, Nürnberg.
- Young, A. (1995). *The Tyranny of numbers: confronting the statistical realities of the East Asian growth experience*, *Quarterly Journal of Economics*.

## Anhang

### Anhang 1: Absolutes und relatives Wachstum

Ein charakteristisches Merkmal der Gordon'schen Glockenkurve ist das Absinken der relativen Wachstumsraten nach Erreichen eines Peaks im Verlauf der Produktivitätsentwicklung.

Tabelle A gibt für die 30 wirtschaftlich stärksten Länder Europas das durchschnittliche jährliche Wachstum zwischen 1950 und 2003 an.

**Tabelle A: BIP pro Einwohner Europa (30), durchschnittliches Wachstum p.a.**

Zeitraum	relativ (in %)	absolut, US-\$ 1990
1950-1970	6,1	273
1970-1990	2,8	280
1990-2003	2,0	320

Quelle: Zahlen aus Maddison (2007)

Wie von Gordon und Nordhaus beschrieben, sinkt das relative durchschnittliche Wachstum p.a. nach 1970 ab. Dennoch wächst das BIP/Kopf real und absolut pro Jahr auf ähnlichem Niveau weiter, da das Niveau inzwischen entsprechend gestiegen ist.

Es zeigt sich also, dass mit sinkenden relativen Produktivitätsgewinnen nicht zwangsläufig auch sinkende absolute Werte einhergehen müssen. Dies ist eigentlich ein trivialer Befund, der daher nicht überbewertet, der aber auch nicht völlig ignoriert werden sollte.

In der Konsequenz bedeutet dies, dass die Zeiträume bis sich Volkswirtschaften unterschiedlichen Produktivitätsniveaus durch unterschiedliches Wachstumstempo angenähert haben relativ lang werden können.

Tabelle B gibt an, wie lange es theoretisch dauert bis OECD- und Nicht-OECD-Länder ein identisches BIP/Einwohner-Niveau erreichen, wenn die OECD-Länder ab sofort nur noch das von Gordon als Zielpunkt beschriebene BIP/ Einwohner-Wachstum von 0,2 Prozent p.a. aufweisen würden. Ausgangspunkt der Berechnung bilden das heutige Niveau von 38.300 US\$/Einwohner in den OECD-Ländern und 4.900 US\$/Einwohner in den Nicht-OECD-Ländern sowie ein jährliches Wachstum der OECD-Ländern um jährlich 0,2%.

**Tabelle B: Dauer bis sich die BIP/Einwohner-Niveaus zwischen OECD- und Nicht-OECD-Ländern angleichen, bei Wachstum der OECD-Länder um 0,2% p.a.**

Wachstum der Nicht-OECD-Länder in % p.a.	Jahre bis Niveau gleich
7,0	32
6,0	37
5,0	45
4,0	57
3,0	76
2,0	117

Eigene Berechnung.

Je geringer das Delta, desto länger dauert es bis die Nicht-OECD-Länder die OECD-Länder eingeholt haben. Selbst, wenn es allen Nicht-OECD-Ländern - nicht nur den Schwellenländern - gelingen würde, langfristig ein Wachstum von 5,0 Prozentpunkten pro Jahr über viele Jahre in Folge zu erzielen, würde es fast ein halbes Jahrhundert dauern bis sich die Niveaus angeglichen haben. Und bei einem Wachstum von 2-3%, einem Bereich in dem sich der tatsächliche Abstand seit 2007 in etwa bewegt, würde der Angleichungsprozess bis zum Ende des laufenden Jahrhunderts dauern.

Dies zeigt, wie groß das globale Potential für langfristiges Wachstum ist, wenn man die Analyse nicht nur auf die G7 bzw. OECD-Staaten beschränkt.

**Tabelle C: Wachstum des BIP/Einwohner, ausgewählter Länder und Ländergruppen**

Land/Region	Wachstum des BIP/Einwohner in 2010 US-Dollar, 2008-2015
Welt	1,1
China	8,7
Indien	5,8
Indonesien	4,1
Russland	1,5
Brasilien	1,1
Südafrika	0,6
OECD	0,7
G7	0,5
Deutschland	1,1
Japan	0,6
USA	0,5

Daten: OECD Productivity Statistics (database) / Welt = World Bank Database; total economy, GDP per capita, 2010 constant US-\$, percentage change at annual rate.

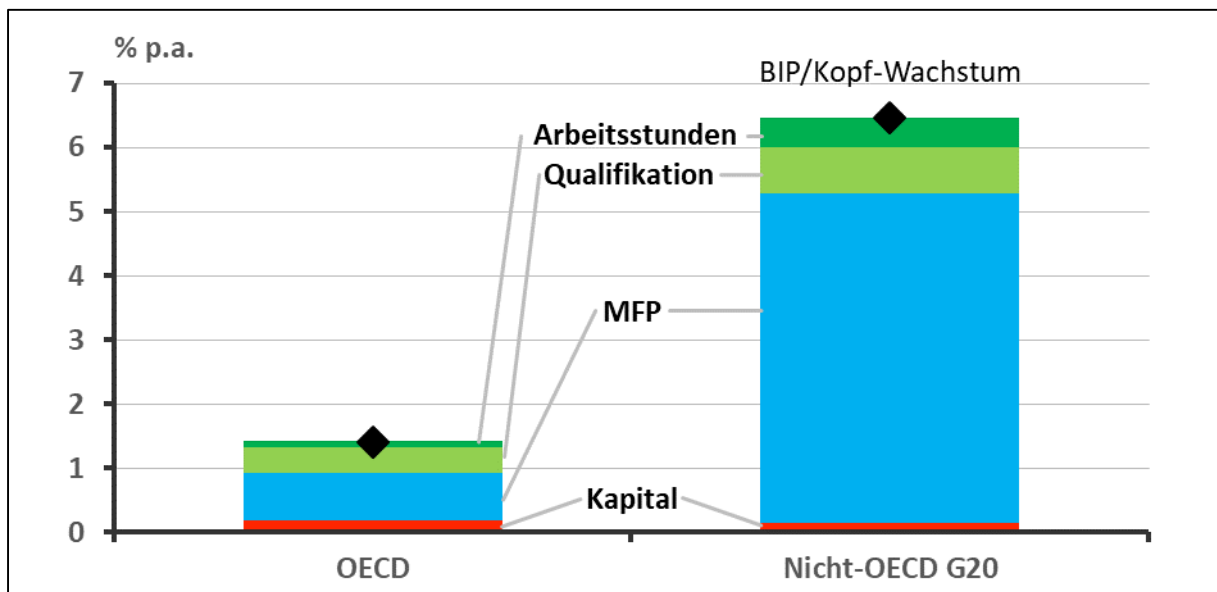
## Anhang 2: Wachstumsraten und Wachstumsgeschwindigkeiten

Wachstumsrate in %	Verdopplung in... Jahren	Wachstum nach 100 Jah- ren (Ausgangswert = 100)
0,1	694	111
0,2	347	122
0,5	139	165
1,0	70	271
1,5	47	443
2,0	35	725
2,5	28	1.181
3,0	23	1.922
3,5	20	3.119
4,0	18	5.051
4,5	16	8.159
5,0	14	13.150
5,5	13	21.147
6,0	12	33.390
6,5	11	54.320
7,0	10	86.772

Formeln. Verdopplung:  $t = \ln(2) / \ln(1+(p/100))$ ; Wachstum: Endwert = Ausgangswert x  $(1 + p/100)^t$

## Anhang 3: Die Multifaktorproduktivität (Total Factor Productivity)

Grafik 30: Wachstumsbeiträge zum BIP pro Kopf, 2000-2010



Zu den 'Nicht-OECD G20' gehören Argentinien, Brasilien, China, Indien, Indonesien, Russland, Saudi-Arabien und Südafrika. / Quelle: Braconier et al. (2014). OECD Economic Outlook 95 long-term database. Berechnungen der OECD.

Grafik 30 zeigt den Wachstumsbeitrag der Produktionsfaktoren Arbeit (Veränderung der insgesamt geleisteten Arbeitsstunden, dunkelgrün, und der Qualifikation<sup>11</sup>, hellgrün) und Kapital (rot) zum BIP/Kopf der OECD-Länder und der größten Nicht-OECD-Länder sowie einen „Rest“ (blau, MFP), der nicht durch Arbeit und Kapital erklärt werden kann.

Den größten Beitrag zum BIP/Kopf-Wachstums leistet dieser „unerklärte Rest“, der im neoklassischen Wachstumsmodell mit Multifaktorproduktivität (MFP, englisch *Total Factor Productivity*) bezeichnet wird. Hinter diesem Residuum können prinzipiell verschiedene Faktoren stecken: Eine effizientere Kombination der Produktionsfaktoren, Skalenerträge, eine bessere Infrastruktur, d.h. Zugänglichkeit/Mobilität zu Kapital und Arbeit, politische Institutionen wie Eigentums- und Verfügungsrechte, die Ressourcenintensität, eine höhere internationale Arbeitsteilung zwischen Volkswirtschaften durch Handel oder technischer Fortschritt.

In der gängigen Diskussion wird dieser Teil des Wachstums in erster Linie auf den letztgenannten Punkt, den technischen Fortschritt, bezogen.

<sup>11</sup> Gemessen als durchschnittliche Länge der schulischen und beruflichen Ausbildung.