

# Die Produktionswende – Turning Data into Sustainability

Durch das Internet of Production zu nachhaltiger  
Produktion und Betrieb

White Paper | Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Boos, MBA





Verhindert das heutige Paradigma der industriellen Produktion Nachhaltigkeit und Innovation?



Kann es eine Produktionswende geben?



Welche Prinzipien sind in der Produktionswende anders?



Was bedeutet die FESG-Bewertung in der Praxis?



## Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Boos, MBA

studierte nach seiner Ausbildung zum Werkzeugmechaniker in der Fachrichtung Stanz- und Umformtechnik an der RWTH Aachen University Maschinenbau. Im Anschluss an sein Studium promovierte er am Werkzeugmaschinenlabor (WZL) mit Auszeichnung und wurde Oberingenieur des Lehrstuhls für Produktionssystematik am WZL. Seit 2018 ist er dort außerplanmäßiger Professor und gründete in dieser Position die WZL Aachen PS GmbH sowie gemeinsam mit Prof. Günther Schuh die WBA Aachener Werkzeugbau Akademie GmbH. Als deren geschäftsführender Gesellschafter unterstützt er die Branche Werkzeugbau auf dem Weg vom traditionell geprägten zum industriellen Werkzeugbau hinsichtlich der Vernetzung von Systemen, der Digitalisierung von Prozessen und des Einsatzes neuer Technologien. In seiner Funktion als stellvertretender Leiter des Clusters Produktionstechnik auf dem RWTH Aachen Campus arbeitet er an der Weiterentwicklung des Internet of Production (IoP) und strebt damit die Produktionswende an. Dieser geht die Vision voraus, mit agiler und nachhaltiger Produktion resiliente Unternehmen zu schaffen.

## Das magische Wort der industriellen Produktion heißt: Produktivität.

Die Produktionswissenschaften haben bereits Ende der 2000er-Jahre erkannt, dass auch eine emissionslose und nachhaltige industrielle Produktion technologisch und wirtschaftlich möglich ist. Die bisherige Bilanzierung des Produktivitätsbegriffs verhinderte in der Vergangenheit aber die Umsetzung einer emissionslosen und nachhaltigen Produktion. Durch eine Veränderung der Kapitalmarktanforderungen von einer reinen Finanzorientierung hin zu einer ganzheitlichen Nachhaltigkeitsbetrachtung wird für eine langfristige Wettbewerbsfähigkeit produzierender Unternehmen in Deutschland eine Produktionswende erforderlich, die den Produktivitätsbegriff grundlegend neu denkt.



## Verhindert das heutige Paradigma der industriellen Produktion Nachhaltigkeit und Innovation?

In den letzten 100 Jahren hat eine nahezu perfekte Industrialisierung stattgefunden, welche sich in vier industriellen Revolutionen manifestiert hat (siehe Abbildung 1).

Gekennzeichnet waren die industriellen Revolutionen durch das kontinuierliche Streben nach Kostenoptimierung, Zeiteinsparung und Qualitätssteigerung. Dies hat zu einer ökonomisch sinnvollen Überproduktion geführt, in deren Konsequenz stetiges Wirtschaftswachstum direkt mit einer Zunahme des Ressourcenverbrauchs sowie der CO<sub>2</sub>-Emissionen verbunden war (siehe Abbildung 2).

Die Produktivität konnte im Verlauf der Industrialisierung in nahezu allen Bereichen so stark gesteigert werden, dass es sich heute große Teile der Bevölkerung leisten können, gekaufte Güter nicht zu nutzen. Kleidung, Geräte, Fahrzeuge, Maschinen und Infrastruktur weisen teilweise einen Nutzungsgrad im einstelligen Prozentbereich auf. Die Herstellung dieser Güter beansprucht jedoch Energie und natürliche Rohstoffe, deren Rückgewinnung weitestgehend unmöglich ist.

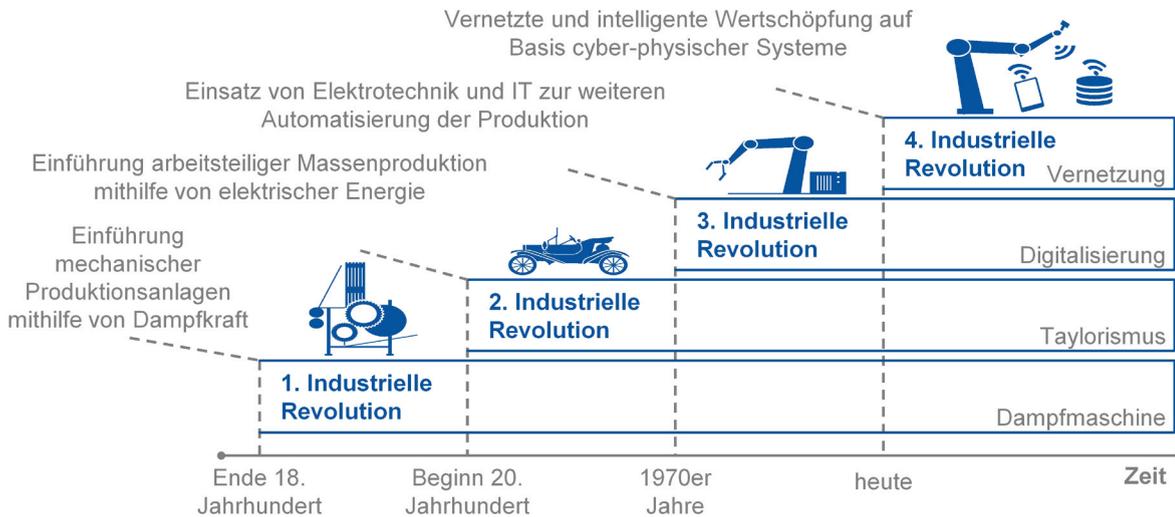


Abbildung 1: Zeitlicher Verlauf der industriellen Revolutionen (Acatech 2013)

Die Notwendigkeit einer Kreislaufwirtschaft, also der Rückführung genutzter Primärrohstoffe als Sekundärrohstoffe in den Energie- und Materialkreislauf, ist seit den 1990er-Jahren zur Schonung natürlicher Ressourcen allgemein anerkannt (Laufs 2017, S. 23; Seelig et al. 2017, S. 47 f.). Allerdings steht eine Kreislaufwirtschaft auf der Bauteil- und Rohstoffebene technologisch und betriebswirtschaftlich den ökonomischen Vorteilen der Überproduktion und Überkapazität nach. „Echte Nachhaltigkeit“ braucht folglich eine Kreislaufwirtschaft auf höherer Ebene. Energie, Emissionen und andere Umweltbelastungen müssen (künstlich) höher bepreist werden. Das Push-System der auf globalem Teile-Tourismus beruhenden vorleistungsintensiven, überregulierten und kapitalintensiven Produktionssysteme muss wieder durch ein Demand-System ersetzt werden, wie es in der handwerklichen Fertigung alltäglich ist.

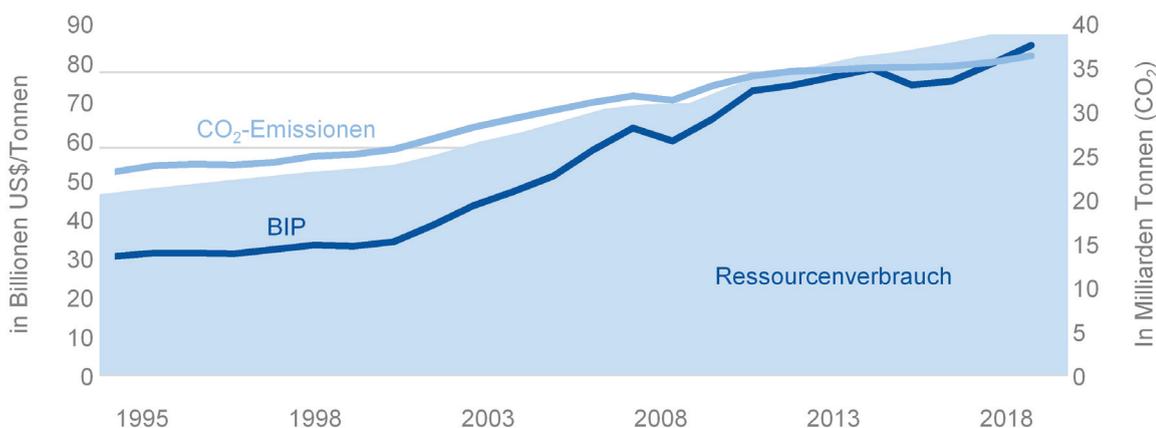


Abbildung 2: Grundlegendes Paradigma der Produktion (Global Carbon Atlas 2019; IFM 2020; UN Environment Program 2020)

## Das Push-System der kapitalintensiven Produktionswirtschaft ist am Beispiel der deutschen Automobilindustrie besonders ausgeprägt.

Um vermeintlich die Economies of Scale zu steigern,

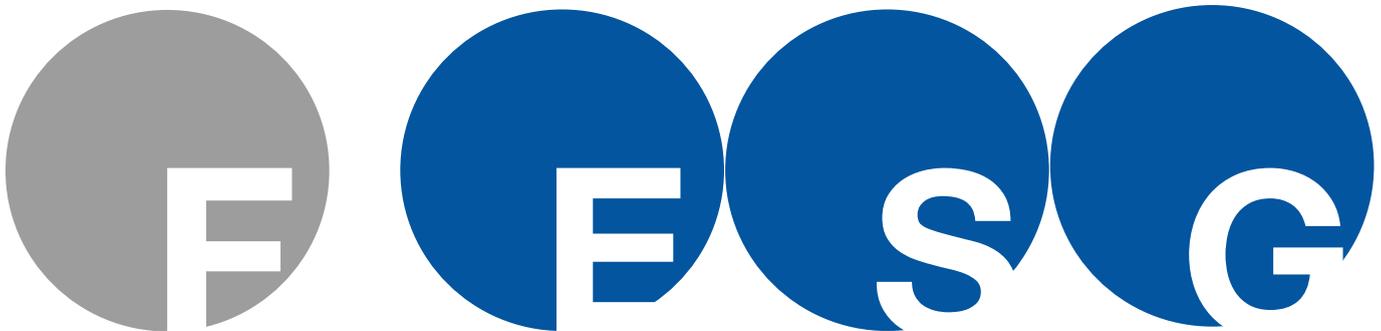
- wird mit großem Aufwand eine riesige Variantenvielfalt von Derivaten und Optionen pro Fahrzeugbaureihe (> 1 Mio. Varianten bei 3 Mio. Fahrzeugen in 6 Jahren) entwickelt. Die Folge ist, dass durchschnittlich nur mit 20-30 % der entwickelten Produktvarianten Geld verdient wird;
- wurde eine globale Supply Chain installiert mit einem Transportvolumen von ca. 500 Mrd. Tonnenkilometer. Die Folge ist, dass 12-21 % der Teilkosten Transportkosten sind;
- wird massiv in Produktionsanlagen investiert. Der CAPEX (Capital Expenditure) für Werkzeuge, Vorrichtungen und Maschinen beträgt ca. 500-800 Mio. € pro Pkw-Baureihe. Die Folge ist, dass Produktionsanlagen typischerweise nur 2 Jahre der 5- bis 6-jährigen Produktionslebensdauer einer Fahrzeugbaureihe ausgelastet sind und mehrheitlich nicht wiederverwendet werden;
- wird ein Händlersystem und eine Absatzfinanzierung betrieben, welche die saisonale Überproduktion auffängt und die Fahrzeuge zum Teil mit staatlicher Hilfe (Dienstwagenbesteuerung, Umweltprämie etc.) und über Absatzmittler (u. a. Flottenkunden) in den Markt drückt. Die Folge ist, dass nur die Hälfte der verkauften Fahrzeuge eine Gewinnmarge erzielt. Die andere Hälfte trägt über teilweise versteckte Rabatte und die Restwertermittlungen zur Entwertung der Gebrauchtfahrzeuge bei. In Deutschland wird ein Pkw durchschnittlich nur 11,3 Jahre alt (Schuh/Riesener 2018, S. 65-79).

Das kapital- und ressourcenintensive Produktivitätsdenken der Produktionswirtschaft differenziert sich zunehmend vom Zukunftsbild der ökologisch bewusster denkenden Gesellschaft. Der Begriff Nachhaltigkeit in den Dimensionen Ökologie, Sozialwesen und Unternehmenssteuerung gewinnt in nahezu allen gesellschaftlichen Bereichen an Relevanz. Dieser gesellschaftliche Interessen- und Wertewandel manifestiert sich in der politischen Meinung und fördert den Erlass von umweltbezogenen nationalen Abgaben sowie internationalen Nachhaltigkeitsversprechen (Green Deal etc.) (European Commission 2019). Die Nachhaltigkeitswende blieb aufgrund der immer noch niedrigen Schlagkraft politischer Forderungen und Sanktionen bisher jedoch aus.

## Die Nachhaltigkeitswende blieb aufgrund der immer noch niedrigen Schlagkraft politischer Forderungen und Sanktionen bisher jedoch aus.

Relevant wird es für produzierende Unternehmen erst jetzt, da der Kapitalmarkt, in Zeiten der digitalen Services und der Plattform-Ökonomie, das Interesse an kapitalintensiven Geschäftsmodellen der Industrie verloren zu haben scheint. Dies zeigt sich in Initiativen wie „Principles for Responsible Investment“ (PRI), welche von den vereinten Nationen unterstützt etwa 70 Billionen Dollar repräsentieren und einen verstärkten Investitionsfokus auf Umwelt-, Sozial- und Unternehmenssteuerungsfaktoren (ESG-Faktoren) legen. Die Einbindung von ESG-Faktoren in die Kapitalmärkte ist für die Investoren wirtschaftlich (The Global Compact, 2004, S. 3 ff.). Die geänderten Stakeholder-Anforderungen haben über die Politik erwiesenermaßen den Kapitalmarkt erreicht, wodurch ein unmittelbarer Veränderungsdruck auf produzierende Unternehmen entsteht. Die Gefahr der ausbleibenden Investitionen steigt, da Kapitalgeber den etablierten produzierenden Unternehmen eine authentische und sinnstiftende Produktionswende nicht zutrauen. Für Unternehmen mit folgenden Charakteristika scheint für den Kapitalmarkt ein baldiger Turnaround besonders herausfordernd:

- überregulierte, höchst arbeitsteilige Entwicklungsprozesse,
- falsch spezialisierte Entwickler auf überkommenen Fachgebieten,
- riesige Produktionswerke mit großer Belegschaft,
- kapitalintensive und hochautomatisierte Produktionsanlagen mit großem Werkzeugbau.



## Kann es eine Produktionswende geben?

Die Antwort auf diese Herausforderungen liegt in der emissionsfreien und echten nachhaltigen Gestaltung der Produktion. Bisher überstiegen die damit verbundenen Investitionen in fast jedem Fall die realisierbaren quantifizierten Mehrwerte für die Unternehmen. Folglich bestand in der Vergangenheit nur eine geringe Motivation für die Unternehmen, in nachhaltige Produkte und Prozesse zu investieren. Der beschriebene Wandel der Anforderungen des Kapitalmarkts ändert dies nun grundlegend. Wenn zukünftig Investitions- und Kaufentscheidungen nicht mehr einzig durch finanzielle Aspekte bestimmt werden, sondern gleichfalls anhand der Erfüllung der ESG-Faktoren durch die Unternehmen, wird Nachhaltigkeit zum alles entscheidenden Wettbewerbsfaktor.

Die vergangenen Revolutionen der industriellen Produktion waren immer Revolutionen der Produktionskonzepte, in denen Unternehmen oder aber unternehmerische Tätigkeiten als produktiv oder unproduktiv eingestuft wurden. Der Maßstab der Bewertung wurde dabei durch das Rationalprinzip (Wirtschaftlichkeitsprinzip) gebildet. Danach soll entweder die größtmögliche Wirkung mit gegebenen Mitteln (Maximalprinzip) oder eine gewünschte Wirkung

mit geringstmöglichem Einsatz (Minimalprinzip) erreicht werden. Produktiv sind solche Unternehmen und Tätigkeiten, bei denen die eingesetzten Mittel in einem günstigen Verhältnis zur erzielten Wirkung stehen. Bislang wird das Verhältnis aus Wirkung und eingesetzten Mitteln, also die Produktivität, mit der Wirtschaftlichkeit gleichgesetzt. In der produzierenden Industrie wird die Produktivität daher bislang aus den Verhältnissen von Gewinn und Eigenkapital (Eigenkapitalrentabilität) oder der Ausbringungsmenge und eingesetzten Arbeitsstunden (Arbeitsproduktivität) bzw. Maschinenstunden (Maschinenproduktivität) bzw. Materialeinsatzmenge (Materialproduktivität) gemessen (Weber 1998, S. 87 ff.). Für die Reaktion auf die veränderten Anforderungen des Kapitalmarkts ist jedoch ein grundlegend neues Produktivitätsverständnis erforderlich. Abbildung 3 zeigt die Bestandteile der dringend erforderlichen Produktionswende und das daraus resultierende neue Verständnis von Produktivität.

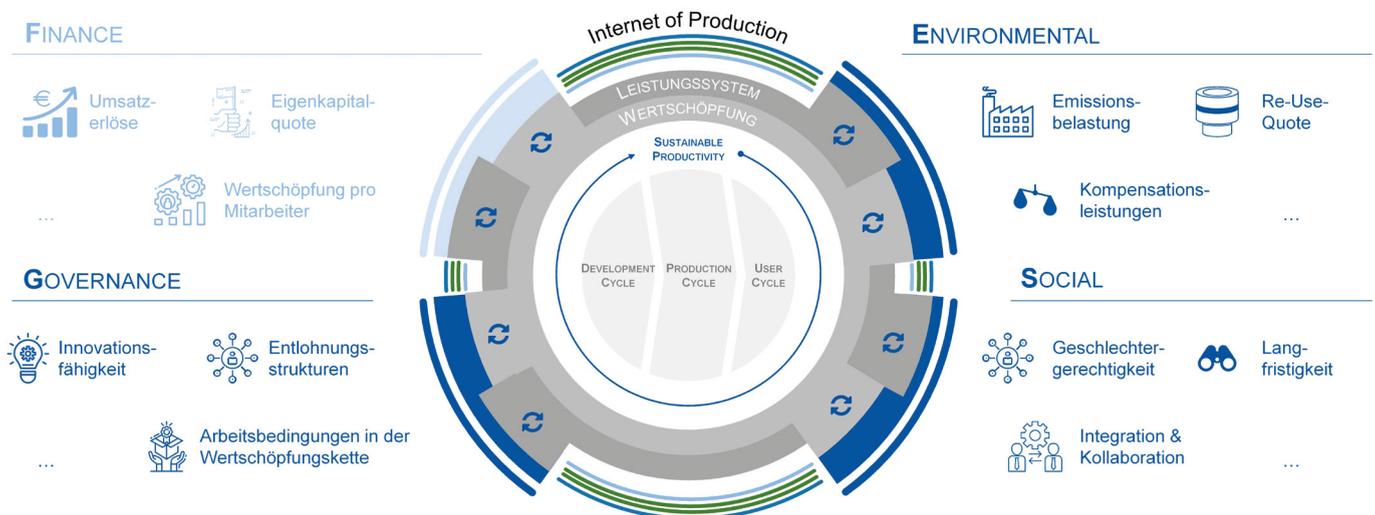


Abbildung 3: Sustainable Productivity als neues Verständnis in der Produktionswende

Die bisherige Perspektive der Economies of Scale und das Verständnis des Produktivitätsbegriffs sind nicht in der Lage, die veränderten Anforderungen für die Unternehmen abzubilden, da sie auf eine zu kleine Bilanzhülle referenzieren. Im Kontext einer Sustainable Productivity als neues Produktivitätsverständnis erfolgt eine Unternehmensbewertung daher neben der finanziellen Perspektive (F) gleichberechtigt auch in einer ökologischen (E), sozialen (S) und steuernden Perspektive (G). In der ökologischen Perspektive wird der positive und negative Umwelteintrag eines Unternehmens und seiner Produkte betrachtet. Die Etablierung einer echten Kreislaufwirtschaft erfordert von den Unternehmen bereits in der Auslegungsphase von Produkten eine Berücksichtigung der Weiterverwendung von Komponenten nach der ersten Nutzungsphase. Die soziale Perspektive beschreibt wesentlich die Integration und Kollaboration innerhalb des Unternehmens, aber insbesondere auch über Unternehmensgrenzen und Kompetenzfelder hinweg. Nur wo die Mitarbeitenden, Lieferanten und Kunden fair und gleichberechtigt behandelt

werden, kann sich ein langfristiger wirtschaftlicher Erfolg in Zukunft einstellen. Die abschließende steuernde Perspektive fokussiert insbesondere die Regulatorik eines Unternehmens. Aktuell wird Innovation durch eine Überregulierung von Produkten und Prozessen häufig deutlich erschwert. Ein ganzheitlich nachhaltiges Unternehmen erfordert jedoch ein innovationsfreundliches Umfeld, um die notwendigen Impulse zur Umsetzung nutzungsbasierter Geschäftsmodelle für sich adaptieren und umsetzen zu können.

Das beschriebene Verständnis einer FESG-orientierten Bewertung der Sustainable Productivity muss neben dem Entwicklungs- und Produktionszyklus ausdrücklich auch den Nutzungszyklus einer Leistung berücksichtigen. In der Automobilindustrie wird dies aktuell bereits am Beispiel des Emissionsausstoßes von Hybridfahrzeugen diskutiert. Der auf dem Papier niedrige Ausstoß ist alleine durch die zugrundeliegende Berechnungslogik bestimmt – in der Realität werden diese Werte häufig deutlich überschritten. Für den CO<sub>2</sub>-Flottenverbrauch der Unternehmen soll daher in Zukunft der im tatsächlichen Betrieb anfallende CO<sub>2</sub>-Ausstoß einfließen. Basis dafür sollen Nutzungsdaten sein, die erhoben und ausgewertet werden.

Die Realisierung einer Sustainable Productivity in allen vier FESG-Dimensionen muss durch die Unternehmen sowohl im Leistungssystem (mit materiellen und immateriellen Leistungen sowie Geschäftsmodellen) als auch im Wertschöpfungssystem aus Ressource, Prozess und Organisation erfolgen. Dies geht dabei deutlich über die bisherigen Effizienzbestrebungen im Rahmen klassischer Lean-Initiativen hinaus.

## Zentraler Befähiger der Produktionswende ist das Internet of Production (IoP).

Zentraler Befähiger dieser Produktionswende ist das Internet of Production (IoP). Das IoP beschreibt die Infrastruktur zur Nutzbarmachung von Rohdaten entlang des Produktlebenszyklus auf Basis eines Digitalen Schattens und darauf aufbauender Analytik zur intelligenten Entscheidungsunterstützung (Schuh et al. 2017, S. 121). Durch die erzeugte Transparenz entlang aller Produktlebenszyklen und Wertschöpfungsstufen kann eine Entwicklung und Produktion erfolgen, die sich ausschließlich nach dem tatsächlichen anforderungs- und mengenbezogenen Bedarf orientiert. Dazu ist es notwendig, die Bedarfe, die Nutzung, die Entwicklung und die Produktion von Seriegütern datenbasiert zu planen und kontinuierlich intelligent zu optimieren. So wird nicht nur das Leistungsspektrum entsprechend dem tatsächlichen Nutzungsverhalten der Kunden gestaltet, sondern der Digitale Schatten von Produkt und Produktion im IoP hilft gleichzeitig bei der Halbierung der Entwicklungskosten. Die in Vergangenheit häufig schwierige Quantifizierung des Mehrwerts digitaler Vernetzung wird so in der Produktionswende zu einem elementaren Bestandteil nachhaltigen Handelns.

## Welche Prinzipien sind in der Produktionswende anders?

Die Ausweitung der Bilanzhülle hat zur Folge, dass die neue Produktivität – die Sustainable Productivity – als Multiplikation der finanziellen (F), ökologischen (E), sozialen (S) und steuernden (G) Faktoren eines Unternehmens bzw. einer Leistung zu verstehen ist (siehe Abbildung 4).

Ein Unternehmen oder eine unternehmerische Tätigkeit ist demnach zukünftig als produktiv (oder „sustainable productive“) zu bewerten, wenn alle vier FESG-Perspektiven gleichermaßen und entlang des gesamten Lebenszyklus sowie über alle Wertschöpfungspartner Berücksichtigung finden. Dies führt dazu, dass die alleinige Fokussierung auf ausgewählte Faktoren, bspw. der finanziellen Perspektive, nicht mehr zu einer als wettbewerbsfähig zu bewertenden Sustainable Productivity führen kann.





Abbildung 4: Berechnung der Sustainable Productivity

Die einzelnen FESG-Faktoren können jeweils als Quotient eines Ergebnisses (Output) und eines eingesetzten Aufwands beschrieben werden. Hierbei kann einerseits das Verhältnis zwischen Wertgrößen (klassisches Beispiel: Umsatzrendite) und zwischen Mengengrößen (klassisches Beispiel: Materialproduktivität als Ausbringungsmenge/Materialinputmenge) sowie andererseits zwischen Mengen- und Wertgrößen (klassisches Beispiel: Arbeitszeitproduktivität als Ausbringungsmenge/Personalkosten) dargestellt werden (Weber 1998, S. 89 f.).

Die finanzielle Perspektive (F) der Sustainable Productivity bildet das herkömmliche Verständnis der Produktivität als Verhältnis aus Finanzergebnis und Finanzaufwand.

$$\text{Finance} = \frac{\text{Finanzergebnis}}{\text{Finanzaufwand}}$$

Hierbei können das Finanzergebnis und der Finanzaufwand im klassisch wirtschaftlichen Sinne geldbezogene Wertgrößen, wie z. B. der Gewinn und das eingesetzte Eigenkapital, oder Mengengrößen, wie z. B. die Ausbringungsmenge und die eingesetzte Materialmenge, darstellen. Die Ergebnisse des F-Faktors sind bspw. die Eigenkapitalrentabilität, die Umsatzrendite oder können als die unterschiedlichen Faktorproduktivitäten der Produktionsfaktoren Arbeit, Maschine und Material wiedergegeben werden.

Die ökologische Perspektive (E) beschreibt das Verhältnis aus positivem Umweltbeitrag und der Umweltbelastung.

$$\text{Environment} = \frac{\text{positiver Umweltbeitrag}}{\text{Umweltbelastung}}$$

Für die Bestimmung des E-Faktors können dabei eine Vielzahl von ökologischen Einflussfaktoren, wie bspw. Emissionen, Abfall und Energie, jeweils ins Verhältnis gesetzt werden. Die ganzheitliche Bilanz der einzelnen ökologischen Relationen wird durch den E-Faktor repräsentiert (The Global Compact 2004, S. 22 f.; Schaltegger et al. 2007, S. 4 ff.).

In der sozialen Perspektive (S) wird das Verhältnis aus dem positiven sozialen Beitrag und der sozialen Belastung dargestellt.

$$\text{Social} = \frac{\text{positiver sozialer Beitrag}}{\text{soziale Belastung}}$$

Analog zum E-Faktor setzt sich der S-Faktor aus einer Vielzahl von sozialen Einflussfaktoren zusammen, die ganzheitlich berücksichtigt werden müssen, um die Sustainable Productivity zu steigern. Exemplarische Themen, denen sich Unternehmen widmen müssen, sind Gesundheit und Sicherheit am Arbeitsplatz, Kollaborationen, Chancengleichheit sowie Menschenrechte (The Global Compact 2004, S. 22 f.; Schaltegger et al. 2007, S. 4 ff.).

Abschließend gibt die steuernde Perspektive (G) das Verhältnis aus positivem Steuerungsbeitrag und Steuerungsaufwand wieder.

$$\text{Governance} = \frac{\text{positiver Steuerungsbeitrag}}{\text{Steuerungsaufwand}}$$

Zu berücksichtigende Einflussfaktoren des G-Faktors sind bspw. Managementstrukturen und Verantwortungen, Rechnungslegungs- und Offenlegungspraktiken, Managementvergütung sowie das Verhindern von Korruption. So können Unternehmen bspw. in einer Art und Weise gesteuert werden, die Überregulierungen reduziert, um Innovationshemmnisse zu überbrücken (The Global Compact 2004, S. 22 f.).



## Was bedeutet die FESG-Bewertung in der Praxis?

Im Wettbewerb „Excellence in Production“ (EiP) zum „Werkzeugbau des Jahres“ werden seit nunmehr 17 Jahren die besten Werkzeugbaubetriebe im deutschsprachigen Raum bewertet und verglichen, um die Wettbewerbsfähigkeit durch ein „Lernen von den Besten“ zu fördern. In der Vergangenheit waren hierbei Finanzen und die Faktorproduktivität die zentralen Schwerpunkte der Betrachtung und Bewertung. Durch die Integration der ESG-Faktoren in den Bewertungsmaßstab des EiP-Wettbewerbs hat sich dies verändert. Die Betrachtung der Sustainable Productivity führt dazu, dass das Signet eines leistungsfähigen Werkzeugbaubetriebs nur noch an Unternehmen vergeben wird, die eine ganzheitliche Erfüllung der FESG-Faktoren vorweisen können. Daraus resultiert eine merkbare Verschiebung der bewerteten Leistungsfähigkeit auf der einen und eine Veränderung des Fokus der teilnehmenden Betriebe auf der anderen Seite. Abbildung 5 zeigt dies anhand eines exemplarischen Beispiels der im Wettbewerb verwendeten Kennzahlen.

Der Wert pro Tag, die Wertschöpfung pro Mitarbeitendem sowie die Umsatzrendite des Werkzeugbaus B übersteigen die Werte des Werkzeugbaus A. Dieser hat lediglich die geringeren Eigenkosten pro Mitarbeitendem als positiven Aspekt vorzuweisen. Unter Berücksichtigung der alten, rein finanzorientierten Bilanzhülle wird Werkzeugbau B aus externer Sicht im klassischen Sinne als leistungsfähiger als Werkzeugbau A bewertet.

Durch die Erweiterung der Bilanzhülle und die Integration der ESG-Faktoren verschiebt sich die Bewertung zugunsten des Werkzeugbaus A. Dieser weist einen besseren E-Faktor als Werkzeugbau B auf, da er aufgrund der Eco-Zertifizierung von Betrieb und einzelnen Produkten (z. B. CO<sub>2</sub>-Werkzeugpass der WBA Aachener Werkzeugbau Akademie GmbH) ein Emissions-Label hält. Zudem ist der Wiederverwendungsanteil von Werkzeugkomponenten höher als der Anteil des Werkzeugbaus B. Analog zum E-Faktor sind auch S-Faktor (höherer Anteil an unbefristeten Angestellten) sowie G-Faktor (höhere Anzahl an Audits entlang der Lieferkette) besser als die des Werkzeugbaus B. Gesamtheitlich wird nun der Werkzeugbau A aus externer Sicht als produktiver als Werkzeugbau B bewertet (Boos et al. 2020, S. 11 ff.).

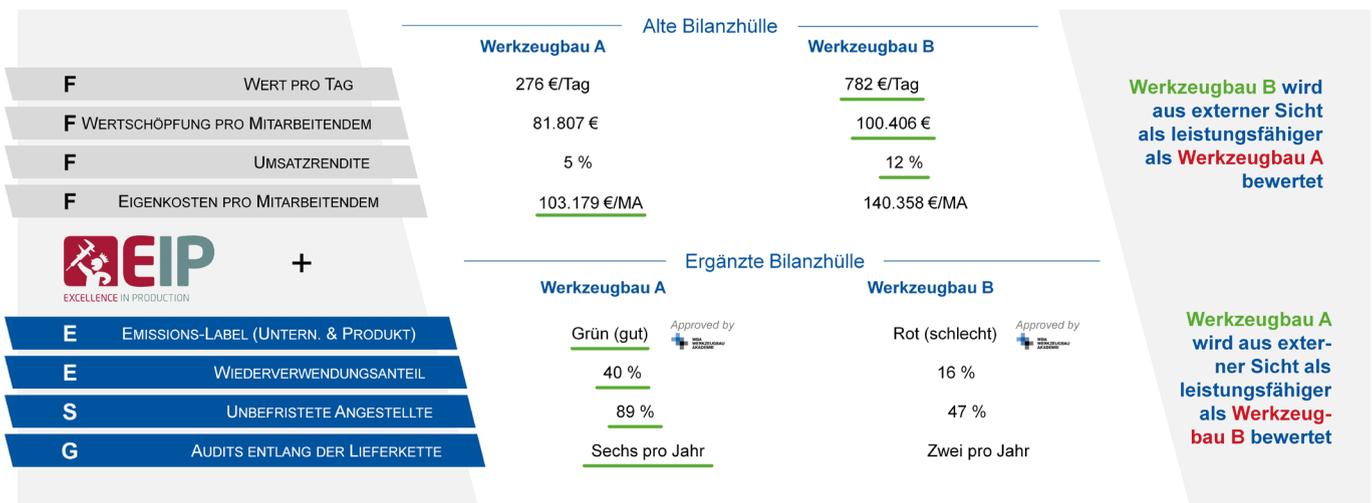


Abbildung 5: Auszug aus der Bewertung der Leistungsfähigkeit nach FESG-Faktoren

## Die produzierenden Unternehmen in Deutschland müssen jetzt starten!

Die für die Branche Werkzeugbau exemplarisch beschriebene Verschiebung der Bewertung der Leistungsfähigkeit wird sich in den nächsten Jahren auf alle produzierenden Branchen ausdehnen. Daher müssen Unternehmen jetzt starten, ihr Leistungsangebot und ihre Wertschöpfung nach FESG-Faktoren zu bewerten und zu optimieren. Nur so können die steigenden Stakeholder-Anforderungen beantwortet und nachhaltig die Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Industrie sichergestellt werden.

## Literaturverzeichnis

**Acatech** (Hrsg.) (2013): Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0, Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0, Frankfurt a.M.

**Boos, W./ Kelzenberg, C./ Helbig, J./ Busch, M./ Graberg, T./ Schweins, J.** (2020): Wettbewerbsfaktor Nachhaltigkeit: Ein Differenzierungsmerkmal für den Werkzeugbau, Studie der WBA Aachener Werkzeugbau Akademie GmbH, Aachen, [https://studien.werkzeugbau-akademie.de/de/unsere\\_studien](https://studien.werkzeugbau-akademie.de/de/unsere_studien), abgerufen am: 28.01.2021.

**European Commission** (2019): A European Green Deal, [https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal\\_en](https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en), abgerufen am: 28.01.2021.

**Global Carbon Atlas** (2019): CO<sub>2</sub>-Emissionen weltweit in den Jahren 1960-2018, <http://www.globalcarbonatlas.org/en/CO2-emissions>, abgerufen am: 28.01.2021.

**Hermann, U.** (2020): Digitalisierung im Industrieunternehmen – Die Chancen der digitalen Ökonomie der Dinge erkennen, entwickeln und erfolgreich umsetzen, Apprimus Verlag, Aachen.

**International Monetary Fund (IMF)**: World Economic Outlook Database, <https://www.imf.org/en/Publications/WEO/weo-database/2020/October>, abgerufen am: 05.10.2020.

**Laufs, P.** (2017): Politische Ziele, Entwicklungen und rechtliche Aspekte der Abfallwirtschaft, in: Kranert, M. (Hrsg.): Einführung in die Kreislaufwirtschaft, Springer-Verlag, Berlin, S. 1-46.

**Schaltegger, S./ Herzig, C./ Kleiber, O./ Klinke, T./ Müller, J.** (2007): Nachhaltigkeitsmanagement im Unternehmen. Von der Idee zur Praxis: Managementansätze zur Umsetzung von Corporate Social Responsibility und Corporate Sustainability, Hrsg: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), Berlin.

**Schuh, G./ Riesener, M.** (2018): Produktkomplexität managen: Strategien - Methoden - Tools, 3. Aufl., Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG, Berlin.

**Schuh, G./ Stich, V./ Basse, F./ Franzkoch, B./ Harzenetter, F./ Luckert, M./ Prote, J. P./ Reschke, J./ Schmitz, S./ Tücks, G./ Weißkopf, J.** (2017): Change Request im Produktionsbetrieb, in: Brecher, C./ Schuh, G./ Klo-cke, F./ Schmitt/R. (Hrsg.): AWK Aachener Werkzeugmaschinen-Kolloquium 2017, Aachen, S. 109-131.

**Seelig, J. H./ Baron, M./ Zeller, T./ Faulstich, M.** (2017): Ressourcen- und Klimaschutz durch Kreislaufwirtschaft, in: Kranert, M. (Hrsg.): Einführung in die Kreislaufwirtschaft, Springer-Verlag, Berlin, S. 47-64.

**The Global Compact** (Hrsg.) (2004): Who Cares Wins: Connecting Financial Markets to a Changing World.

**UN Environment Program** (2020): Domestic Material Consumption, in: International Resource Panel Global Material Flows Database, <https://www.resourcepanel.org/global-material-flows-database>, abgerufen am: 28.01.2021.

**Weber, H.** (1998): Rentabilität, Produktivität und Liquidität. Größen zur Beurteilung und Steuerung von Unternehmen, Gabler-Verlag, Wiesbaden.

## Impressum

### Herausgeber:

Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen University  
Campus-Boulevard 30  
52074 Aachen  
Germany  
[www.wzl.rwth-aachen.de](http://www.wzl.rwth-aachen.de)

### Verantwortlich:

Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Boos, MBA

### Redaktion:

Bärbel Keysselitz (M.A.), Stefanie Strigl (M.A.)

### Gestaltung:

Angela Winkelmann (B.A.)

### Fotos:

Adobe Stock (Titel, S. 12)  
WBA (S. 3)  
WZL (S. 5, S. 15)

### Stand:

05/2021