



Sustainability in Additive Manufacturing

Ökologische Vor- und Nachteile des 3D-Drucks

Institut für Prozessmanagement und Digitale Transformation
FH Münster

Prof. Dr. Carsten Feldmann
Sebastian Fernströning, M. Eng.





Lebenszyklus-Modell



Ausgewählte Aspekte



Motivation

Emissionen des Güterverkehrs in Deutschland ^[1]

CO₂

9.185 Mio. kg

NO₂

23 Mio. kg

Fein-
staub

0,3 Mio. kg



An aerial photograph of a dense forest of tall evergreen trees, likely spruce or fir, with a dark, textured canopy. The trees are packed closely together, and the lighting is somewhat dim, creating a sense of depth and mystery. The overall color palette is dominated by various shades of green and dark brown.

Corporate Social Responsibility

[Mac](#)[iPad](#)[iPhone](#)[Watch](#)[TV](#)[Music](#)[Support](#)

Environment

[Climate Change](#)[Resources](#)[Safer Materials](#)[Reports](#)

Climate Change



**We're making more of an impact
by making less of one.**

Wir werden bis 2030 CO2-neutral

Wie schaffen wir das?



Siemens Energieeffizienzprogramm

Siemens plant, bis 2020 etwa 100 Millionen Euro in Energieeffizienzprojekte an eigenen Standorten zu investieren. Schon seit vielen Jahren entwickeln und implementieren wir zudem für unseren Kunden individuell angepasste Programme zur Verbesserung der Gebäudeeffizienz durch modernste Gebäudetechnologie und digitale Dienstleistungen.

➤ [Die Energieeffizienz steigern – bei uns und unseren Kunden](#)



Dezentrale Energiesysteme

Eines unserer Ziele bis 2020 ist es, 45 Millionen Euro in dezentrale Energiesysteme zu investieren. Technologiebeispiele, die wir bei unseren Kunden einsetzen, sind: Windenergieanlagen, Photovoltaikanlagen, Energiespeicherung und dezentrale Kraft-Wärme-Kopplung mit Blockheizkraftwerken. Dezentrale Energiesysteme nutzen saubere Formen von Energie und senken zugleich die Energiekosten.

➤ [Grün, grüner, Kalwa](#)

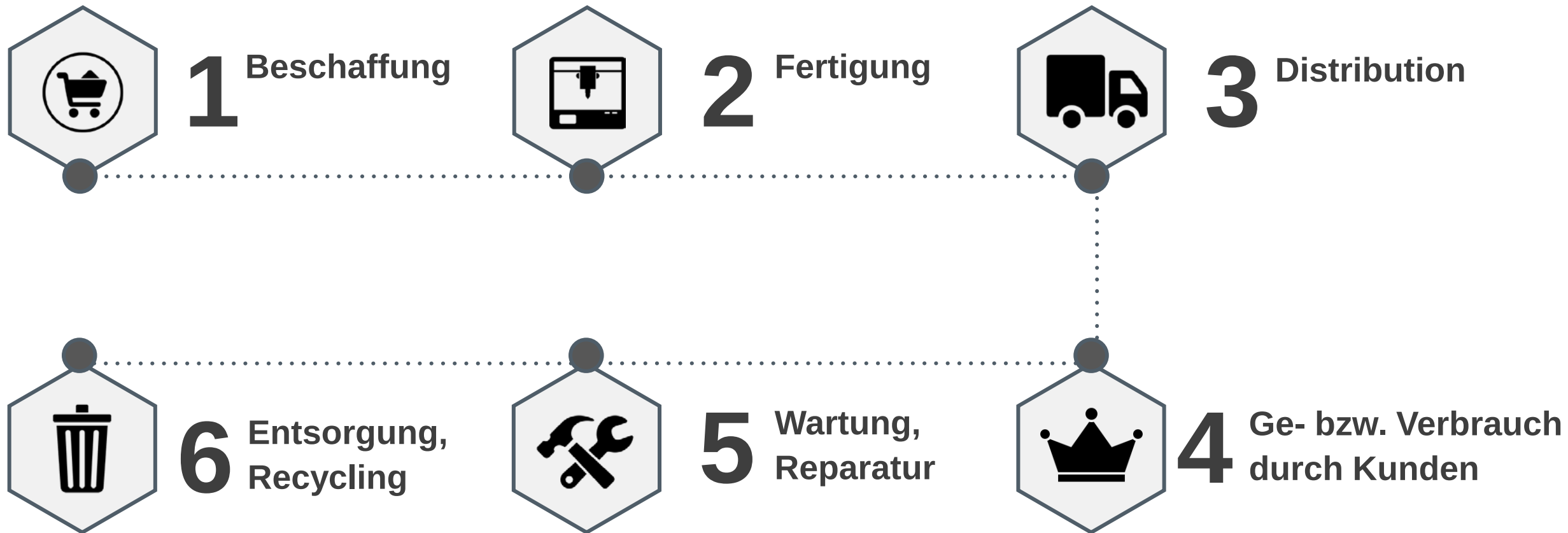


**3D-Druck schont Ressourcen,
spart Energie und gestaltet die
Produktion und den Konsum
nachhaltiger.** [2; 3]

... stimmt diese Aussage?



Sechs Phasen bilden den Lebenszyklus eines additiv hergestellten Bauteils



Phase 1: Beschaffung



+ weniger Emissionen, Treibstoffverbrauch

+ niedrigere Bestände

+ weniger Verschrottung obsoleter Materialien

- mehr Transporte bei
dezentralem (privaten)
Druck

Phase 2: Fertigung



+ verringerter Materialeinsatz

- Abfall durch Nachbearbeitung

+ niedrigerer Energieverbrauch

- höherer Energieverbrauch

+ keine Werkzeuge, Formen

- mehr Ausschuss bei priv. Laien

+ weniger Verschrottung bei Obsoleszenz

- Emission Nanopartikel etc.

Phase 3: Distribution



+ weniger Emission, Treibstoffverbrauch

+ kürzere Transportdistanzen

+ geringere Überproduktion: Bestände

- mehr Transporte bei
dezentralem (privaten)
Druck

Phase 4: Ge- bzw. Verbrauch durch Kunden



+ verringerte Emissionen,
Treibstoffverbrauch: Leichtbau

- verändertes Konsum-
verhalten: Rebound-Effekt
durch Wegwerf-Kultur

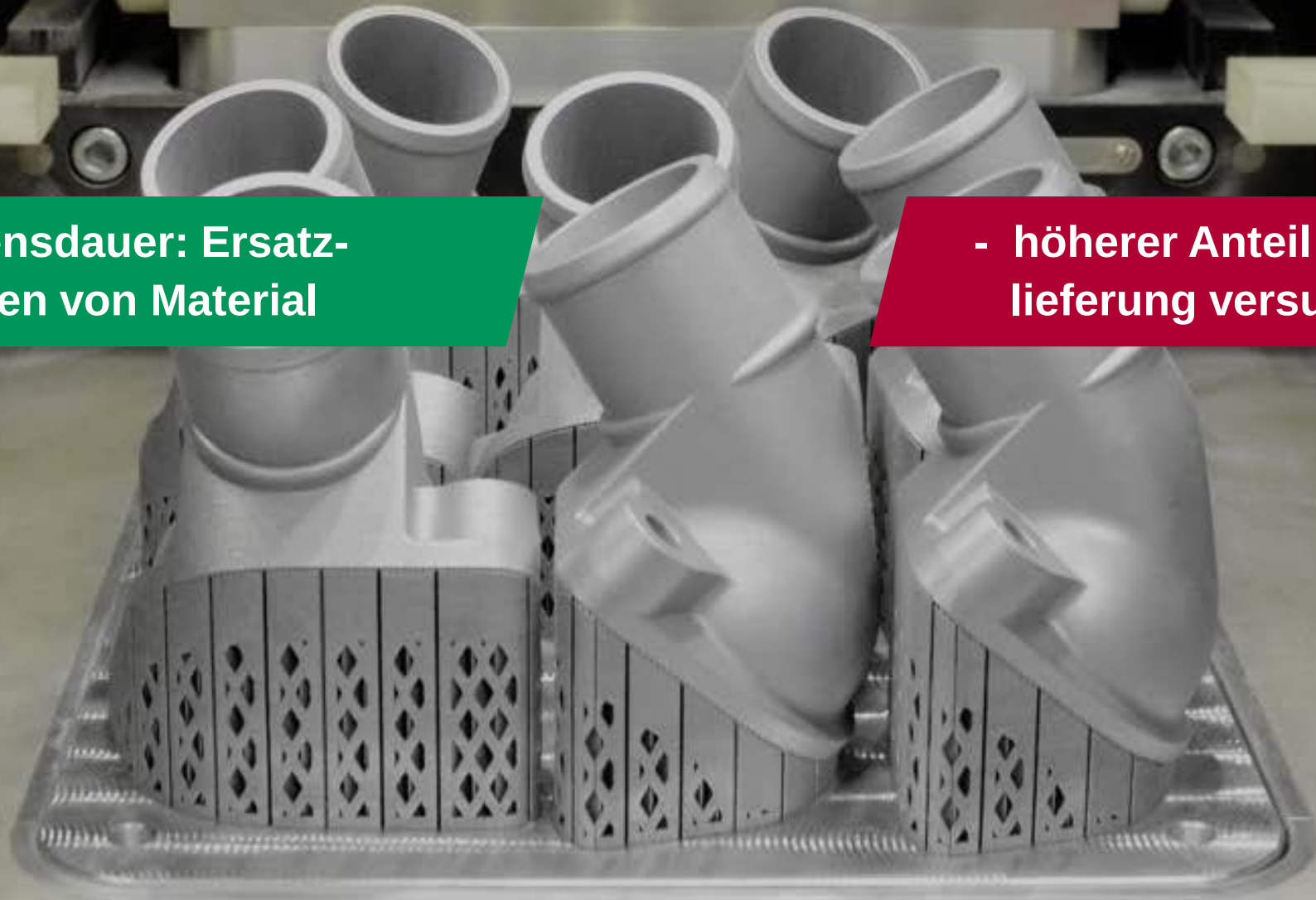


Phase 5: Wartung und Reparatur



+ längere Lebensdauer: Ersatzteile, Auftragen von Material

- höherer Anteil Austauschlieferung versus Reparatur



Phase 6: Entsorgung, Recycling



+ weniger Material zu entsorgen
(Leichtbauweise)

+ Recycling: Druckrohstoffe aus
Abfall

- tlw. Recyclebarkeit unklar

- sortenreine Entsorgung tlw.
schwierig

- tlw. Toxizität



Ökologische Auswirkungen über den Lebenszyklus

	1: Beschaffung	2: Fertigung	3: Distribution	4: Ge- bzw. Verbrauch	5: Wartung, Rep.	6: Entsorgung, Rec.
VORTEILE	• Verringerter Treibstoffverbrauch und Emissionen: – niedrigere Anzahl eingehende Lieferungen für Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffe [5; 6] – geringerer Anteil emissionsintensiver Expresslieferungen per Luftfracht durch Substitution mit weniger emissionsintensiven Transportmodi [7] – höherer Anteil wiederverwendbarer Rückstände aus dem Fertigungsprozess [8] • Niedrigere Anzahl an Bestands-einheiten (SKU) und verringerte Bestände, z. B. werden Transporte physischer Güter durch das Versenden bzw. Speichern digitaler Daten substituiert [9; 10; 11] • Weniger Verschrottung obsoleter Rohmaterialbestände [11]	• Verringerter Materialeinsatz, (insbes. durch Hohlräume und Wabenstrukturen [8;11;12;13]) • Keine bzw. weniger Verschwendung von Rohstoff (z. B. Wiederverwendung von Stützmaterial) [12; 13; 14; 15; 16; 17; 18; 19; 20] • Niedrigerer Energieverbrauch, z. B. durch den Entfall mehrerer Bearbeitungsmaschinen oder interner Transporte zwischen verschiedenen Fertigungsschritten [13; 21; 22]; Energiebedarf variiert je Druckverfahren, Objekt, Stückzahl [4; 23; 24; 25; 26] • Keine Werkzeuge oder Formen [17] • Entfall Hilfsstoffe: Wasser zum Kühlen, Schneidflüssigkeit zum Fräsen, Schmiermittel mit umweltschädlichen Inhaltsstoffen [6; 21; 27] • Weniger Verschrottung obsoleter Bestände an Halbfertigwaren	• Verringerter Treibstoffverbrauch und Emissionen: – kürzere oder keine Transportdistanzen zum Ge- oder Verbrauchsort [8; 29; 30; 31; 32] – verringertes Gewicht bei Leichtbauweise, z. B. mittels Hohlräumen, Wabenstrukturen [6] – Anteil emissionsintensiver Expresslieferungen mit Luftfracht verschiebt sich zugunsten weniger emissionsintensiver Transportmodi wie Bahn, Straße oder Schiff [33] – Dezentrales Recycling spart Transportwege [4] • Weniger Überproduktion bzw. Bestände durch nachfragesynchrones Print-on-demand, Postponement und weniger Stufen in der Lieferkette [7; 9; 11] • Weniger Verschrottung obsoleter Endproduktbestände [10]	• Leichtbauweise führt zu verringertem Treibstoffverbrauch und weniger Emissionen, z. B. bei Verwendung der Objekte in der Automobil- oder Luftfahrtbranche [6; 9; 15; 21]	Reparaturen ermöglicht bzw. beschleunigt, die die Lebensdauer von Produkten oder Werkzeugen verlängern [4]: • Kostengünstige Fertigung von Ersatzteilen [22] • Wiederherstellung originaler Geometrie nach Abnutzung oder Defekten [6]	• Bei Objekten in Leichtbauweise (Hohlräume, Wabenstrukturen) ist weniger Abfall zu entsorgen bzw. weniger Material zu recyceln [15] • Gewinnung von Druckrohstoffen aus Abfall [34; 35] • Neue Druckrohstoffe vermindern Toxizität und Ressourceneinsatz [36]
NACHTEILE	• Höhere Frequenz kleiner Transportvolumina kann die o. g. positiven Transporteffekte kompensieren (im Falle einer Vielzahl dezentraler, privater 3D-Drucker statt einer zentralen Fertigung) [7]	• Höherer Energieverbrauch pro Stück (Tendenzaussage) [21] • Zusätzlicher Abfall durch Nachbearbeitung, z. B. für Oberflächenbehandlung, Stützmaterial, Degradation von Material [6; 28] • Dezentrale Fertigung durch Laien erhöht Risiko von Ausschuss und Emissionsbelastung [4; 6;8;] • Emission von Feinstaub, Nanopartikeln, flüchtigen organischen Verbindungen, Lösemittel, Abwasser [4; 5] • Degradation: Materialqualitätsverlust im Druckprozess [4] • Belastungen durch Umgehen von Umweltstandards [4]	• Höhere Frequenz kleiner Transportvolumina kann die o. g. positiven Transporteffekte kompensieren (im Falle einer Vielzahl dezentraler (privater) 3D-Drucker statt einer zentralen Fertigung)	• Durch einfache, dezentrale Fertigung, z. B. durch private Endkunden: Verbrauch von mehr Produkten (und Ressourcen) als eigentlich erforderlich wäre (Rebound-Effekt, "Wegwerf-Kultur") [4; 6]	• Anteil von Austauschlieferungen ("swap") steigt im Vergleich zu Reparaturen aufgrund begrenzter Zugänglichkeit für Reparaturarbeiten [33]	• Recyclebarkeit einiger Materialien bislang nicht gegeben [37; 38] • Sortenreine Entsorgung bzw. Recyclebarkeit von zwei oder mehreren miteinander im Druckprozess verschmolzenen Materialien schwierig [4; 10] • Toxizität einiger Druckrohstoffe [39; 40]

Deep Dive



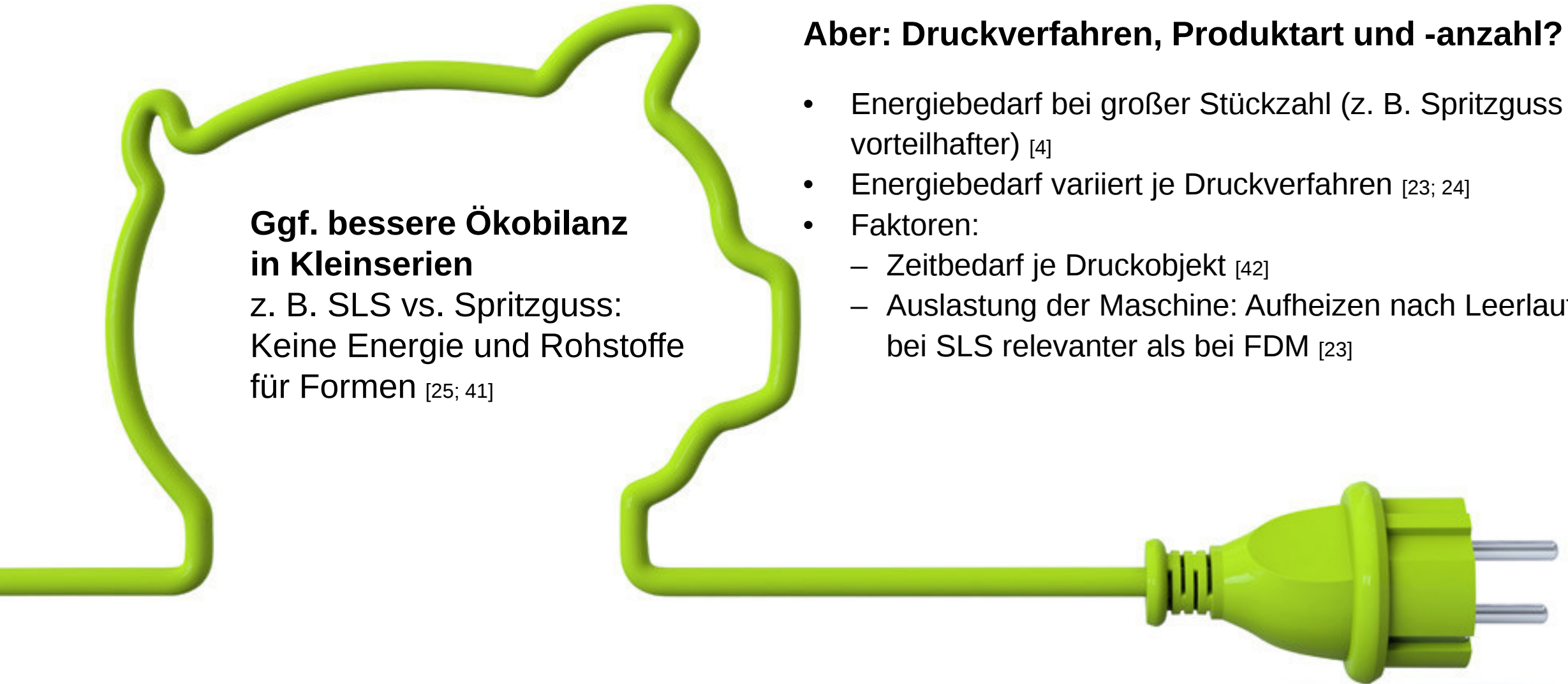
Energieeinsparung ist nur im Einzelfall zu bewerten ...

Ggf. bessere Ökobilanz in Kleinserien

z. B. SLS vs. Spritzguss:
Keine Energie und Rohstoffe
für Formen [25; 41]

Aber: Druckverfahren, Produktart und -anzahl?

- Energiebedarf bei großer Stückzahl (z. B. Spritzguss vorteilhafter) [4]
- Energiebedarf variiert je Druckverfahren [23; 24]
- Faktoren:
 - Zeitbedarf je Druckobjekt [42]
 - Auslastung der Maschine: Aufheizen nach Leerlauf [26] bei SLS relevanter als bei FDM [23]



... ebenso ist die Rohstoffeffizienz nur situationsabhängig zu bewerten

Verringerter Materialeinsatz, Abfall

Beispiele:

- Zahnimplantate [20]
- Metallverarbeitung [17]

Relativierung je Verfahren

- Stützstrukturen
- Oberflächenbehandlung
- Fehldrucke
- Degradation von Materialien [28]



Umweltauswirkungen unterscheiden sich stark je Anwendungsfeld des gedruckten Objekts



ANWENDUNG	Treibhaus- gase	Schadstoff- belastung in Innenräumen	Diffuse Nähr- und Schad- stoffeinträge	Verbrauch mineralischer Rohstoffe	Verbrauch biotischer Rohstoffe	Wasser- verbrauch	Mechanische Tötung von Tieren	Naturraum- beanspruch- ung	Störfälle/ Unfälle
Eigengebrauch									
Prototypen									
Leichtbau									
Reparatur									
Werkzeugherst.									
Recycling									
Anwendung Bauindustrie									
Bioprinting Nahrung									



Potenziell relevant (negativ)



Potenziell relevant (positiv)



Nicht relevant

Quelle: [4]



Umweltauswirkungen sind Treibhausgase (Energie), Schadstoffe (Feinstaub, flüchtige Verbindungen, Nanopartikel, Lösemittel), Abwasser (Schneidflüssigkeit) und Unfälle von Laien

Verfahren	Treibhausgase	Verbrauch mineralischer Rohstoffe	Schadstoffe in Innenräumen	Abwasser	Störfälle/ Unfälle
Pulverbasiert - PLS					
Pulverbasiert - MLS					
Extrusionsbasiert – Phy.					
Extrusionsbasiert – Che.					
VAT; Stereolithographie					
Material Jetting					
Binder Jetting					
Sheet Lamination					
Directed Energy Depo.					



Potenziell relevant (negativ)



Potenziell relevant (positiv)



Nicht relevant

Quelle: [4]



Fazit

Fazit 1: Es kommt darauf an ...

- Druckverfahren**
- Material**
- Anwendungsfeld**
- Objekt**

Druckrohstoff aus aufbereitetem Plastikmüll aus den Weltmeeren



**„Beim Drucken mit ABS stieß ein einzelner Drucker rund 200 Milliarden
Ultrafein-Partikel pro Minute aus.“ (Meier 2013)**





Fazit 2:

**Stärke der Umweltauswirkungen
resultiert aus
Entwicklung des Anteils
am weltweiten Maschinenpark**

Es gibt viele Wege einen Joghurtbecher zu recyceln...



Ich freue mich auf Ihre Fragen!

Fachhochschule Münster
Institut für Prozessmanagement und Digitale Transformation
Corrensstraße 25, 48149 Münster
www.fh-muenster.de/ipd

Prof. Dr. Carsten Feldmann
0251 83-65404 | carsten.feldmann@fh-muenster.de

Sebastian Fernströning, M. Eng.
0251 83-65682 | s.fernstroening@fh-muenster.de



- [1] Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL) (2018). "Emissionen in der Logistik", <https://www.bvl.de/themenkreise/urbane-logistik/factsheet-emissionen-in-der-logistik>, aufgerufen am 18.10.2018.
- [2] Campbell, Thomas; Christopher Williams; Olga Ivanova und Banning Garrett (2011). Could 3D Printing Change the World? In: Technologies, Potential, and Implications of Additive Manufacturing Technologies.
- [3] Chen, Danfang; Steffen Heyer; Suphunnika Ibbotson; Konstantinos Salonitis; Jón Garðar Steingrímsson und Sebastian Thiede (2015). Direct digital manufacturing: definition, evolution, and sustainability implications. In: Journal of Cleaner Production, 107, S. 615–625.
- [4] Keppner, Benno; Kahlenborn, Walter; Richter, Stephan; Jetzke, Tobias; Lessmann, Antje; Bovenschulte, Marc (2018). Die Zukunft im Blick: 3D-Druck. Trendbericht zur Abschätzung der Umweltwirkungen.
- [5] Cerdas, F., Juraschek, M., Thiede, S., und Herrmann, C. (2017). Life Cycle Assessment of 3D Printed Products in a Distributed Manufacturing System. Journal of Industrial Ecology 21:S. 80-93.
- [6] Petschow, U., Ferdinand, J.-P., Dickel, S., Flämig, H., und Steinfeldt, M. (2014). Dezentrale Produktion, 3D-Druck und Nachhaltigkeit: Trajektorien und Potenziale innovativer Wertschöpfungsmuster zwischen Maker-Bewegung und Industrie 4.0. Institut für Ökologische Wirtschaftsforschung; Institut für ökologische Wirtschaftsforschung Berlin, Berlin. Schriftenreihe des IÖW 206.
- [7] Boon, W., und van Wee, B. (2017). Influence of 3D printing on transport: a theory and experts judgment based conceptual model. Transport Reviews 1–20.
- [8] Pour, M. A., Zanardini, M., Bacchetti, A., und Zanoni, S. (2016). Additive Manufacturing Impacts on Productions and Logistics Systems. IFAC-PapersOnLine 49:1679–1684.
- [9] Burkhart, M., und Aurich, J. C. (2015). Framework to Predict the Environmental Impact of Additive Manufacturing in the Life Cycle of a Commercial Vehicle. Procedia CIRP 29:408–413.
- [10] Ford, S., und Despeisse, M. (2016). Additive manufacturing and sustainability: an exploratory study of the advantages and challenges. Journal of Cleaner Production 137:1573–1587.
- [11] Mohr, S., und Khan, O. (2015). 3D Printing and Its Disruptive Impacts on Supply Chains of the Future. Technology Innovation Management Review 5:20–24.
- [12] Hopkinson, N., Hague, R. J. M., und Dickens, P. M. (2006). Rapid Manufacturing. An industrial Revolution for the Digital Age. John Wiley and Sons Ltd.
- [13] Reeves, P. (2018). Additive Manufacturing - A supply chain wide response to economic uncertainty and environmental sustainability. Econolyst Limited.

- [14] Bühner, M. (2013). First LCA on 3D Printer Sustainability Green Manufacturing Revolution or Overrated Gadget? www.ipoint-systems.com/blog/first-lca-on-3d-printer-sustainability-green-manufacturing-revolution-or-overrated-gadget/. Aufgerufen am 15.07.2018.
- [15] Gebler, M., Schoot Uiterkamp, A. J.M., und Visser, C. (2014). A global sustainability perspective on 3D printing technologies. *Energy Policy* 74:158–167.
- [16] Lipson, H., und Kurman, M. (2013). *Fabricated: The New World of 3D Printing ; [the Promise and Peril of a Machine That Can Make (Almost) Anything]*. Wiley, Indianapolis.
- [17] Petrovic, V., Vicente Haro Gonzalez, J., Jordá Ferrando, O., Delgado Gordillo, J., Ramón Blasco Puchades, J., and Portolés Griñan, L. (2011). Additive layered manufacturing: sectors of industrial application shown through case studies. *International Journal of Production Research* 49:1061–1079.
- [18] Janssen, R., Blankers, I. Moolenburgh, E., und Posthumus, B. (2014). TNO: The Impact of 3-D Printing on Supply Chain Management.
- [19] Wigan, M. W. (2014). Transport Replacement and Sustainability aspects associated with Additive manufacturing. Unpublished Paper. <http://works.bepress.com/mwigan/6/>. Aufgerufen am 16.07.2018.
- [20] van Noort, Richard (2012). The future of dental devices is digital. In: *Dental Materials*, 28:1, S. 3–12.
- [21] Huang, S. H., Liu, P., Mokasdar, A., und Hou, L. (2013). Additive manufacturing and its societal impact: a literature review. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 67:1191–1203.
- [22] Woodcock, J. (2011). Additive Manufacturing and the Environment. *tct magazine* 4:33-36.
- [23] Baumers, M.; Tuck, Christopher; Wildman, Ricky; Ashcroft, I. und Hague, R. (2011). Energy inputs to additive manufacturing: does capacity utilization matter? In: *EOS*, Ausgabe 1000: 270, S. 30–40.
- [24] Olson, Robert (2013). A boon or a bane? In: *The Environmental Forum*, 30:6, S. 3438.
- [25] Faludi, Jeremy; Bayley, Cindy; Bhogal, Suraj; Iribarne, Myles (2015a). Comparing environmental impacts of additive manufacturing vs traditional machining via lifecycle assessment. In: *Rapid Prototyping Journal*, 21:1, S. 14–33.
- [26] Faludi, Jeremy; Zhongyin Hu; Shahd Alrashed; Christopher Braunholz; Suneesh Kaul und Leulekal Kassaye (2015b). Does Material Choice Drive Sustainability of 3D Printing? In: *International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering*, 9:2, S. 216–223.
- [27] Hofmann, E., und Oettmeier, K. (2016). 3-D-Druck - Wie additive Fertigungsverfahren die Wirtschaft und deren Supply Chains revolutionieren. *Zeitschrift für Führung und Organisation* 84–90.

- [28] Ahn, Sung-Hoon; Chun, Doo-Man; Chu, Won-Shik (2013). Perspective to green manufacturing and applications. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, 14:6, S. 873–874.
- [29] Garg, A., und Lam, J. S. L. (2015). Measurement of environmental aspect of 3-D printing process using soft computing methods. *Measurement* 75:210–217.
- [30] Manners-Bell, J., und Lyon, K. (2012). The Implications of 3D Printing for the Global Logistics Industry. *Transport Intelligence Ltd.*
- [31] Nyman, H. J., und Sarlin, P. (2014). From Bits to Atoms: 3D Printing in the Context of Supply Chain Strategies. In *2014 47th Hawaii International Conference on System Sciences*. IEEE. doi:10.1109/HICSS.2014.518.
- [32] Petrick, I. J., und Simpson, T. W. (2013). 3D Printing Disrupts Manufacturing: How Economies of One Create New Rules of Competition. *Research-Technology Management* 56:12–16.
- [33] Feldmann, C. und Pumpe, A. (2016). A holistic decision framework for 3D printing investments in global supply chains. - In: *Transportation Research Procedia (TRPRO) - World Conference on Transport Research (WCTR) 2016*, S. 677-694.
- [34] Finger, Tobias (2014). Startup Plastic Bank sagt Abfallbergen den Kampf an. <http://green.wiwo.de/3ddruck-mitplastikmuellstartupplasticbanksagtabfallbergen-denkampf-an>. Zitiert bei Keppner et al. 2017.
- [35] Lomas, Natasha (2014). The 3D Printing Landfill Of Opportunity. <https://techcrunch.com/2014/04/20/plasticproblem/>. Zitiert bei Keppner et al. 2017.
- [36] Faludi, Jeremy (2013). Environmental Impacts of 3D Printing. <http://sustainabilityworkshop.autodesk.com/blog/environmentalimpacts3dprinting>. Zitiert bei Keppner et al. 2017.
- [37] Bourell, D. L., Leu, M. C., und Rosen, D. W. (Editors) (2009). Roadmap for Additive Manufacturing: Identifying the Future of Freeform Fabrication. *Roadmap for Additive Manufacturing Workshop*.
- [38] Organisation for Economic Co-operation and Development (2003). Trade Facilitation: The Benefits of Simpler, more Transparent Border Procedures, available online at www.oecd.org/dataoecd/35/50/8920454.pdf.
- [39] Oskui, Shirin M.; Graciél Diamante; Chunyang Liao; Wei Shi; Jay Gan; Daniel Schlenk und William H. Grover (2016). Assessing and Reducing the Toxicity of 3DPrinted Parts. In: *Environ. Sci. Technol. Lett.*, 3:1, S. 1–6.
- [40] Macdonald, N. P.; Zhu, F.; Hall, C. J.; Reboud, J.; Crosier, P. S.; Patton, E. E.; Wlodkowic, D.; Cooper, J. M. (2016). Assessment of biocompatibility of 3D printed photo polymers using zebrafish embryo toxicity assays. *Lab on a chip*, 16:2, S. 291–297.
- [41] Telenko, Cassandra; Conner Seepersad, Carolyn (2012). A comparison of the energy efficiency of selective laser sintering and injection molding of nylon parts. *Rapid Prototyping Journal*, 18:6, S. 472–481.
- [42] Mognol, Pascal; Denis Lepicart und Nicolas Perry (2006). Rapid prototyping: energy and environment in the spotlight. In: *Rapid prototyping journal*, 12:1, S. 26–34.

- Ben den Engelsen (2018). <https://unsplash.com/photos/q0THLEGs5I>, aufgerufen am 17.10.2018.
- Apple Inc. (2018). www.apple.com/environment/climate-change, aufgerufen am 17.10.2018.
- Siemens AG (2018). <https://www.siemens.com/global/de/home/unternehmen/nachhaltigkeit/dekarbonisierung/co2neutral.html>, aufgerufen am 17.10.2018.
- Elevate (2018). <https://unsplash.com/photos/dl-aXC7DWpQ>, aufgerufen am 18.10.2018.
- Sculpteo (2017). www.sculpteo.com/blog/2017/09/06/how-to-design-for-dls-clip-discover-our-brand-new-ebook-on-3d-design/, aufgerufen am 18.10.2018.
- Filamentworld (2018). www.filamentworld.de/shop/pla-filament-3d-drucker/proto-pasta-filament-1-75mm-conductive-pla/, aufgerufen am 18.10.2018.
- Jilbert Ebrahimi (2018). <https://unsplash.com/photos/b0p818k8Ok8>, aufgerufen am 18.10.2018.
- LEO Lane Ltd. (2017). <http://www.leolane.com/wp-content/uploads/2017/08/Mercedes-Benz-Metal-3D-printed-Parts.jpg>, aufgerufen am 18.10.2018.
- Dezeen (2016). www.dezeen.com/2015/12/12/adidas-ocean-plastic-3d-printing-eco-friendly-trainers/, aufgerufen am 18.10.2018.
- Rodrigo Abreu (2018). <https://unsplash.com/photos/lq9PxpWZUk>, aufgerufen am 18.10.2018.
- Scott Rodgerson (2017). <https://unsplash.com/photos/6tiytXTQ3Yg>, aufgerufen am 19.10.2018.
- Jeremy Bishop (2017). <https://unsplash.com/photos/QHZn3-0bbEM>, aufgerufen am 22.10.2018.
- Alexander Beck (2010). <http://ethify.org/content/joghurtbecher>, aufgerufen am 22.10.2018.
- BTS (2017). www.bts.com/news-insights/news-press/business-insight/deep-dive-business-simulations-for-strategy-execution, aufgerufen am 22.10.2018.
- Rosswag GmbH (o. D.). <https://www.rosswag-engineering.de/metallpulver-3d-druck>, aufgerufen am 22.10.2018.
- Computerbild (2018). <https://www.computerbild.de/artikel/cb-Aktuell-Energie-sparen-Tipps-Sommer-Stromfresser-9944394.html>, aufgerufen am 22.10.2018.
- Kulturstrand (o. D.). <https://kulturstrand.org/wahrsager>, aufgerufen am 22.10.2018.