

Forschungsimpuls: Vakuumtechnologie

30. September 2021



EE4InG
Energieeffizienz für Industrie
und Gewerbe



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

PTW
TU DARMSTADT



Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

Projektleitung

Prof. h.c. Dr.-Ing. Eberhard Abele

Jessica Walther

Technische Universität Darmstadt

Institut für Produktionsmanagement, Technologie und Werkzeugmaschinen (PTW)

Eugen Kogon Straße 4

D – 64287 Darmstadt

Tel. + 49 (6151) 16 20478

Fax + 49 (6151) 16 20087

info@ptw.tu-darmstadt.de

Verfasser:innen der vorliegenden Untersuchung:

Institut für Produktionsmanagement, Technologie und Werkzeugmaschinen (PTW), TU Darmstadt

Matthias Weigold

Astrid Weyand

Sophie Lehnert

Kontakt:

Astrid Weyand

Eugen-Kogon-Straße 4

64287 Darmstadt

+49 6151 8229674

a.weyand@ptw.tu-darmstadt.de

Anmerkung :

Im Rahmen des Projektes wurde für dieses Thema kein Gespräch/Interview mit Expert:innen durchgeführt, was für eine finale Abschätzung des Einsparpotentials seitens der Autor:innen jedoch empfohlen wird. Der Forschungsimpuls ist daher als erste Analyse und nicht als abgeschlossen zu verstehen.

Inhaltsverzeichnis

1. Kurzübersicht Technologie.....	1
2. Chancen und Relevanz.....	2
3. Hemmnisse im Bereich Vakuumtechnologie.....	3
4. Forschungspotential	4

1. Kurzübersicht Technologie

Die Vakuumtechnologie findet in vielen verschiedenen Bereichen Anwendung. Insbesondere in der Industrie hat die Vakuumtechnologie seit dem Ende des 19. Jahrhunderts an Bedeutung gewonnen. So wird sie in vielfältigen Industriezweigen wie beispielsweise der Elektrotechnik, der Metallurgie oder der Lebensmittelindustrie eingesetzt. (Jousten 2018, S. 19–20)

Bei einem Vakuum handelt es sich generell um einen gasentleerten Hohlraum. Nach DIN 28400 ist dabei der Druck des Gases 300 mbar oder niedriger als außerhalb des Behälters (28400-1). Je nach Druck kann zwischen verschiedenen Vakuumbereichen, die in Tabelle 1.1 aufgeführt sind, unterschieden werden. Die benötigte Energie variiert dabei abhängig vom Vakuumbereich, aber auch abhängig vom benötigten vakuumierten Volumen. Dabei ist anzumerken, dass zur benötigten Energie für die Erzeugung des Vakuums je nach Produkt, beispielsweise im Fall des Teilchenbeschleunigers, noch zusätzlich Energie für weitere Aspekte wie die Magnetfelder oder die Kühlung benötigt werden kann.

Tabelle 1.1: Vakuumbereiche (Diener electronics 2021)

Vakuumbereich	Druckbereich	Beispiel für Anwendung
Großvakuum	1000 – 1 mbar	Staubsauger (Verbraucherzentrale Südtirol 2021)
Feinvakuum	1 – 10^{-3} mbar	Gefriertrocknung (VACUUBRAND GMBH + CO KG 2021)
Hochvakuum	10^{-3} – 10^{-7} mbar	Elektronenmikroskop (SMC Austria GmbH 2019)
Ultrahochvakuum	10^{-7} – 10^{-14} mbar	Teilchenbeschleuniger (CERN 2021)

Zur Herstellung eines Vakuums werden Pumpen genutzt, die das Gas aus dem zu evakuierenden Behälter fördern oder es innerhalb der Vakuumanlage binden. Die gasfördernden Pumpen können in Verdrängerpumpen und kinetische Pumpen unterteilt werden, wobei erstere das Gas einschließen, verdichten und unter höherem Druck ausstoßen, während kinetische Pumpen dafür sorgen, dass das Gas durch eine zusätzliche Geschwindigkeitskomponente zum Pumpenausgang fließt. Die Unterteilung der gasbindenden Pumpen erfolgt anhand des genutzten Mechanismus zur Bindung des Gases wie beispielsweise Absorptions- und Kryopumpen. Am häufigsten finden Verdrängerpumpen zur Vakuumerzeugung Anwendung. (Jousten 2018, S. 295–298)

Wie bereits zuvor dargestellt, findet die Vakuumtechnologie in vielen Bereichen Anwendung. Eine Auflistung der wichtigsten Anwendungsgebiete ist in Tabelle 1.2 zu finden. Neben dem wichtigsten Anwendungszweig in der Industrie wird die Vakuumtechnologie auch in vielen Bereichen der Forschung genutzt.

Deutschland gehört mit einem prozentualen Anteil von 15,1 % am weltweiten Export von Pumpen und Systemen zu den wichtigsten Herstellernationen im Jahr 2015 (Brodersen und Peters 2017, S. 6). Zu den wichtigsten Playern in Deutschland im Bereich Vakuumtechnologie zählen Pfeiffer Vacuum Technology AG und Busch Vacuum Solutions. Pfeiffer Vacuum Technology AG beschäftigt weltweit über 3.000 Mitarbeiter:innen und hat mehr als 20 Tochtergesellschaften mit einem jährlichen Umsatz von 632 Mio. € in 2018 (Weltmarktführer-Index Pfeiffer Vacuum 2021). Einen noch größeren Umsatz konnte Busch Vacuum Solutions im selben Jahr mit rund 663 Mio. € erzielen. Busch Vacuum

Solutions beschäftigt ebenfalls über 3.000 Mitarbeiter:innen weltweit. Seit November 2018 ist Busch Vacuum Mehrheitseigner des Konkurrenten und hält mehr als 50 % der Unternehmensaktien von Pfeiffer Vacuum Technology AG. Die beiden Unternehmen planen nun eine engere Zusammenarbeit. (Weltmarktführer-Index Busch Vacuum 2021) Neben den beiden Top Playern im deutschen Vakuummarkt gibt es weitere Vakuumtechnik-Anbieter, die einen Sitz in Deutschland haben, deren Mutterkonzern jedoch im Ausland ansässig ist. So zum Beispiel die SMC Deutschland GmbH, die Teil der japanischen SMC Corporation ist, oder die Leybold GmbH, die Teil des schwedischen Industriekonzerns Atlas Copco ist und mit rund 323,8 Mio. € Umsatz im Jahr 2018 erheblich zum deutschen Weltmarktanteil beigetragen hat (northdata 2021a, 2021b). Weitere größere deutsche Unternehmen im Vakuummarkt sind Schmalz Vakuum mit einem Umsatz von etwa 123 Mio. € und die Firma Vacuubrand mit einem Umsatz von etwa 56 Mio. € (Weltmarktführer-Index 2021; VACUUBRAND GMBH + CO KG (Wertheim): Umsatz, Mitarbeiterzahl - Die Deutsche Wirtschaft 2021). Darüber hinaus gibt es viele mittelständische Unternehmen in Deutschland, die Vakuumtechnik produzieren, wie beispielsweise va-Q-tec oder Firmen, die neben vielen anderen Geschäftsfeldern in der Vakuumtechnologie aktiv sind, wie zum Beispiel Festo SE & Co. KG (Festo 2021; va-Q-tec 2021).

Ebenso wird an deutschen Universitäten zu Vakuumtechnologie geforscht. Unter anderem findet diese Forschung am Institut Fluid-Mechatronische Systemtechnik an der TU Dresden statt (TU Dresden 2021).

Tabelle 1.2: Anwendungsgebiete der Vakuumtechnologie (Jousten 2018, S. 20–21)

Industrie	Forschung
Vakuumm Metallurgie	Biotechnologie
Kristallherstellung	Elementarteilchenphysik
Physikalisches Aufdampfen (PVD)	Materialforschung
Chemische Dampfabcheidung (CVD)	Nanotechnologie
Trocknung und Entgasung	Massenspektroskopie
Vakuumisolation	Plasmaforschung
Recycling	Tiefentemperaturforschung
Chemische Industrie	Weltraumsimulation
Gefriertrocknung	
Lebensmittelverpackung	
Elektro-/Halbleitertechnik	

2. Chancen und Relevanz

In Deutschland wird der jährliche Endenergiebedarf für die Vakuumtechnik in der Industrie auf 240 GWh (Stand 2013) geschätzt. Aufgrund der gestiegenen Produktions- und Exportzahlen einerseits und Effizienzsteigerungen andererseits wird angenommen, dass der aktuelle Energiebedarf für die Vakuumanwendung immer noch bei 240 GWh pro Jahr liegt. Dabei werden knapp ein Drittel mittels trockenlaufender Pumpen erzeugt. (Blesl und Kessler 2017, S. 281–282) Möglichkeiten zur Energieeinsparung wurden 2104 von Reichmann et al. (Reichmann et al. 2014) durch Recherche und Expert:innengespräche mit Vakuumpumpenherstellern und Vakuumanlagenbauern auf durchschnittlich 5 – 15 % beziffert. Die einzelnen Maßnahmen und ihr jeweiliges Einsparpotenzial sind in Tabelle 2.1 dargestellt. Dabei wurden bewusst Optimierungen von Basistechnologien wie

bspw. der Einsatz eines Frequenzumrichters ausgeklammert, da diese bereits in anderen Energiebetrachtungen berücksichtigt werden.

Durch die Umsetzung aller Maßnahmen lassen sich laut der betrachteten Studie europaweit bis zu 982 GWh pro Jahr einsparen. Dabei liegt das wirtschaftliche Einsparpotenzial bei 629 GWh pro Jahr in Europa, was etwa 64 % des technischen Potenzials entspricht. (Reichmann et al. 2014)

Der Produktionswert¹ von Vakuumpumpen ist zwischen 2009 und 2018 kontinuierlich auf 935,5 Millionen Euro gestiegen, im Jahr 2019 aber leicht gefallen auf 824,2 Millionen Euro (VDMA 2020b). Das gleiche gilt für den Exportwert von Vakuumpumpen aus Deutschland, der 2018 auf einem Maximum von 961,6 Millionen Euro lag, 2019 leicht auf 913,7 Millionen Euro zurückgegangen ist (VDMA 2020a).

Tabelle 2.1: Maßnahmen zur Energieeinsparung ((Reichmann et al. 2014))

Maßnahme	Energieeinsparung
Verbesserung der Geometrie, der Lager und der Strömungsführung	5-25 %
Austausch der Pumpe	Bis zu 95 %
Angepasste Controller und Druckbereichserweiterung	10-20 %
Kühlenergienutzung	Bis zu 66 %
Flüssigkeitseinspritzung	5-15 %
Selbstparametrisierung	Bis zu 10 %
Nutzung von Halteventilen	20-50 %
Mehrkanalejektoren	5-10 %
Höhere Betriebsmitteltemperatur	1-4 %
Beimischungen	10-20 %
Änderung des Kondensationstyps	20-25 %
Tandembetrieb	10-20 %
Kühlung anstelle von kontinuierlicher Betriebsmittelzuführung	9 %

3. Hemmnisse im Bereich Vakuumtechnologie

Bezüglich der Effizienzsteigerung in der Vakuumtechnologie gibt es einige Hemmnisse, die überwunden werden müssen. Es herrscht zum einen ein Informationsdefizit über mögliche Optimierungsmaßnahmen seitens der Vakuumpumpenhersteller sowie der Anlagenplaner (siehe auch Bericht zum Know-How-Gefälle aus dem Projekt (EE4InG 2021)). Ebenso müssen die oben genannten Einsparmaßnahmen immer an die Gegebenheiten der Firmen angepasst werden, was Unsicherheiten mit sich bringt. Spezifische Aussagen über die Wirksamkeit der oben gelisteten Maßnahmen beziehungsweise deren Einsparpotential lassen sich kaum bis gar nicht treffen. Hinzu kommen Ausfallzeiten, die entstehen, wenn Maßnahmen mit einem Pumpentausch oder Umbauarbeiten an der Anlage einhergehen. (Reichmann et al. 2014)

¹ Gemäß Kostenrechnung: Summe der Herstellkosten der erzeugten Güter Weber et al. 2018.

4. Forschungspotential

Bei der Betrachtung der in (Reichmann et al. 2014) genannten Maßnahmen und des abgeschätzten durchschnittlichen Potentials ergeben sich Energieeinsparpotentiale von ca. 24 GWh pro Jahr in Deutschland. Dazu wird die konservative Annahme getroffen, dass der Energiebedarf in Deutschland für Vakuumtechnologie in der Industrie auf gleichem Niveau wie 2013 geblieben ist und im Mittel 10 % davon eingespart werden können, (siehe Abschnitt 2). Um dieses Potential zu überprüfen, bietet sich ein Fachgespräch mit Expert:innen, insbesondere Vertreter:innen des Verbands Deutscher Maschinen und Anlagenbau (VDMA, Bereich Kompressoren, Druckluft- und Vakuumtechnik) an, welches im Rahmen des Projektes nicht durchgeführt werden konnte.

Weitere Teilnehmer:innen eines solchen Fachgesprächs oder von Expert:innenbefragungen sind aus Sicht der Autor:innen Vertreter:innen der oben genannten Firmen, insbesondere Busch Vakuum Solutions als Unternehmen mit größtem Marktanteil in diesem Bereich. Eine ausführliche Liste potentieller Firmen findet sich in *VDMA - Pumpen und Kompressoren für den Weltmarkt 2020* (erscheint jährlich) (VDMA - Pumpen + Systeme, VDMA Kompressoren, Druckluft- und Vakuumtechnik 2019). Zudem empfiehlt sich die Befragung von Forscher:innen aus relevanten Instituten wie beispielsweise dem schon genannten Institut Fluid-Mechatronische Systemtechnik an der TU Dresden.

Anzumerken ist zudem, dass sich die identifizierten Potentiale aufgrund des hohen Anteils der Pumpen am Gesamtenergiebedarf bei Vakuumanwendungen mit den Potentialen in diesem Themenfeld überschneiden. Diese wurden im Forschungsimpuls *Pumpen und Systeme* im EE4InG-Projekt betrachtet (EE4InG 2021).

Literaturverzeichnis

Blesl, Markus; Kessler, Alois (2017): *Energieeffizienz in der Industrie*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

Brodersen, Sönke; Peters, Alexander (2017): *Pumpen und Kompressoren für den Weltmarkt Pumpen und Kompressoren für den Weltmarkt 2017 mit Druckluft- und Vakuumtechnik*. Hg. v. VDMA. Frankfurt am Main.

CERN (Hg.) (2021): *A vacuum as empty as interstellar space*. Online verfügbar unter <https://home.cern/science/engineering/vacuum-empty-interstellar-space>, zuletzt aktualisiert am 10.11.2021, zuletzt geprüft am 10.11.2021.

Diener electronics (2021): *Die Vakuumtechnologie im Überblick*. Online verfügbar unter <https://www.plasma.com/vakuumtechnologie/>, zuletzt aktualisiert am 10.02.2021, zuletzt geprüft am 10.02.2021.

EE4InG (2021): *EE4InG Projekthomepage*. Online verfügbar unter <https://ee4ing.de/>, zuletzt geprüft am 29.09.2021.

Festo (2021): *Automatisierungstechnik und technische Bildungslösungen | Festo DE*. Online verfügbar unter <https://www.festo.com/de/de/>, zuletzt aktualisiert am 10.11.2021, zuletzt geprüft am 10.11.2021.

Jousten, Karl (2018): *Handbuch Vakuumtechnik*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.

northdata (2021a): Umsatz Leybold GmbH, Köln. Online verfügbar unter <https://www.northdata.de/Leybold+GmbH,+K%C3%B6ln/HRB+26670>, zuletzt aktualisiert am 10.02.2021, zuletzt geprüft am 10.02.2021.

northdata (2021b): Umsatz SMC Deutschland GmbH, Egelsbach. Online verfügbar unter <https://www.northdata.de/SMC+Deutschland+GmbH,+Egelsbach/Amtsgericht+Offenbach+am+Main+HRB+31580>, zuletzt aktualisiert am 10.02.2021, zuletzt geprüft am 10.02.2021.

Reichmann, Carsten; Kessler, Alois; Siegismund, Volker (2014): Energieeffizienz in der Vakuumtechnik. In: *Vakuum in Forschung und Praxis* 26 (1), S. 18–22. DOI: 10.1002/vipr.201400545.

SMC Austria GmbH (Hg.) (2019): Hochvakuum – ein Einblick in die moderne Industrie. Online verfügbar unter <https://smc-fluidcontrol.at/hochvakuum-ein-einblick-in-die-moderne-industrie/>, zuletzt aktualisiert am 25.10.2019, zuletzt geprüft am 10.11.2021.

TU Dresden (2021): Startseite Institut für Mechatronischen Maschinenbau. Online verfügbar unter <https://tu-dresden.de/ing/maschinenwesen/imd>, zuletzt aktualisiert am 10.11.2021, zuletzt geprüft am 10.11.2021.

VACUUBRAND GMBH + CO KG (Hg.) (2021): Vakuumtechnik / Vakuumpumpen für Laboranwendungen. Online verfügbar unter <https://www.vacuubrand.com/de/page1142.html>, zuletzt aktualisiert am 10.11.2021, zuletzt geprüft am 10.11.2021.

VACUUBRAND GMBH + CO KG (Wertheim): Umsatz, Mitarbeiterzahl - Die Deutsche Wirtschaft (2021). Online verfügbar unter https://die-deutsche-wirtschaft.de/famu_top/vacuubrand-gmbh-co-kg-wertheim-umsatz-mitarbeiterzahl/, zuletzt aktualisiert am 10.02.2021, zuletzt geprüft am 10.02.2021.

28400-1, Mai 1990: Vakuumtechnik.

va-Q-tec (2021): va-Q-tec | Experte für thermische Hochleistungsdämmung. Online verfügbar unter <https://va-q-tec.com/>, zuletzt aktualisiert am 10.11.2021, zuletzt geprüft am 10.11.2021.

VDMA (2020a): Exportwert von Vakuumpumpen aus Deutschland in den Jahren 2009 bis 2019 (in Millionen Euro). Hg. v. VDMA. Online verfügbar unter <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/250194/umfrage/produktion-von-vakuumpumpen-in-deutschland/>, zuletzt geprüft am 29.09.2021.

VDMA (2020b): Produktionswert von Vakuumpumpen aus Deutschland in den Jahren 2009 bis 2019 (in Millionen Euro). Hg. v. VDMA. Online verfügbar unter <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/250194/umfrage/produktion-von-vakuumpumpen-in-deutschland/>, zuletzt geprüft am 29.09.2021.

VDMA - Pumpen + Systeme, VDMA Kompressoren, Druckluft- und Vakuumtechnik (2019): Pumpen und Kompressoren für den Weltmarkt 2020. mit Druckluft- und Vakuumtechnik. Unter Mitarbeit von Dipl.-Wirt.-Ing. Christoph Singrün. Hg. v. VDMA - Pumpen + Systeme, VDMA Kompressoren, Druckluft- und Vakuumtechnik.

Verbraucherzentrale Südtirol (Hg.) (2021): Hilfe beim Kauf des Staubsaugers | VZS. Online verfügbar unter <https://www.consumer.bz.it/de/hilfe-beim-kauf-des-staubsaugers>, zuletzt aktualisiert am 10.11.2021, zuletzt geprüft am 10.11.2021.

Weber, Jürgen; Weizsäcker, Robert; Horvath, Michael (2018): Definition: Produktionswert. In: *Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH*, 19.02.2018. Online verfügbar unter <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/produktionswert-44013>, zuletzt geprüft am 25.11.2021.

Weltmarktführer-Index (2021): Schmalz Vacuum. Online verfügbar unter https://www.weltmarktfuehrerindex.de/corp_profile/?pid=127, zuletzt aktualisiert am 10.02.2021, zuletzt geprüft am 10.02.2021.

Weltmarktführer-Index Busch Vaccum (2021). Online verfügbar unter https://www.weltmarktfuehrerindex.de/corp_profile/?pid=501, zuletzt aktualisiert am 09.02.2021, zuletzt geprüft am 09.02.2021.

Weltmarktführer-Index Pfeiffer Vaccum (2021). Online verfügbar unter https://www.weltmarktfuehrerindex.de/corp_profile/?pid=199, zuletzt aktualisiert am 09.02.2021, zuletzt geprüft am 09.02.2021.
