

Lehrstuhl für Siedlungswasserwirtschaft
TUM School of Engineering and Design
Technische Universität München



DECHEMA
Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e.V.
Fachbereich Wassermanagement

Leitfaden zum Austausch von Vakuumpumpen

Überblick über erforderliche Planungsschritte, Pumpentypen und
Arbeitsweisen bei der Vakuumproduktion

Gefördert durch das Bayerische Landesamt für Umwelt



Impressum

Leitfaden zum Austausch von Vakuumpumpen

Herausgeber

Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU)
Bürgermeister-Ulrich-Straße 160, 86179 Augsburg
Tel.: 0821 9071-0
Fax: 0821 9071-5556
E-Mail: poststelle@lfu.bayern.de
Internet: www.lfu.bayern.de/

Angaben zum Auftragnehmer

Technische Universität München, Lehrstuhl für Siedlungswasserwirtschaft
Am Coulombwall 3, 85748 Garching
Jonas Stoll, Dr. Thomas Lippert,
Prof. Dr. Brigitte Helmreich, Prof. Dr. Jörg E. Drewes

DECHEMA Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e.V.
Fachbereich Wassermanagement
Theodor-Heuss-Allee 25, 60486 Frankfurt am Main
Dr. Daniel Frank, Dr. Thomas Track

Titelgrafik

Jean-Philippe Delberghe,
zur freien Nutzung unter der Unsplash Lizenz (<https://unsplash.com/>)

Stand: Mai 2022

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	1
Erforderliche Planungsschritte	2
<i>Planungsschritte innerhalb der Machbarkeitsuntersuchung</i>	2
Ausgangssituation	2
Organisation	2
Verfahrensprinzip	3
Entwerfen von Planungskonzepten	3
Wahl der richtigen Vakuumpumpe	4
<i>Planungsschritte innerhalb der Entwurfsplanung</i>	4
Aufgaben des Entwurfes	4
Benötigte Fachplanungen	5
Zusammentragen der Ergebnisse	5
<i>Planungsschritte innerhalb der Genehmigungsplanung</i>	5
Baugenehmigung und Brandschutzüberprüfung	5
<i>Planungsschritte innerhalb der Ausführungsplanung und Vergabe</i>	6
Aufgabe der Ausführungsplanung und Vergabe	6
Ausführung und abschließende Schritte	6
Auswahl der richtigen Pumpe	7
<i>Übersicht über relevante Pumpentypen</i>	7
Inhalt und Ziel	7
<i>Details zu den relevanten Pumpen</i>	10
Membranpumpe	10

Hubkolbenpumpe	10
Scrollpumpe	12
Doppelrotorpumpen	13
Wälzkolbenpumpe	13
Schraubepumpe	14
Klauenkolbenpumpe	16
Einzelrotorpumpen	17
Flüssigkeitsringpumpe	17
Drehschieberpumpe	18
Sperrschieber	19
Gasringpumpe	21
Turboverdichter	22
Turbomolekularpumpe	23
Treibmittelstrahlpumpe	25
Diffusionspumpe	26
<i>Einsatzgebiete der Pumpen</i>	26
Planung einer Produktion	26
Grobvakuum	26
Feinvakuum	27
Hochvakuum	28
<i>Fazit</i>	30
Anbieter	31

Vorwort

Die vorliegende Broschüre wurde im Rahmen des Forschungsvorhabens „Geschlossener Wasserkreislauf in der Industrie – Abwasserfreie Industrieproduktion“ des Bayerischen Landesamtes für Umwelt erstellt und soll Industrieunternehmen als Orientierungshilfe zur Umstellung auf eine abwasserfreie Vakuumerzeugung dienen. Der Leitfaden umfasst alle relevanten Planungsschritte und orientiert sich an den Leistungsphasen der Honorarordnung für Architekten und Ingenieure (HOAI), den Verfahrenstechniken der Vakuumpumpen, bereits durchgeführten Sanierungen sowie an öffentlich zugänglichen Informationen von Fachplanungsbüros und Pumpenherstellern.

Die Broschüre schließt mit einer Übersicht am Markt befindlicher Vakuumpumpenhersteller. Es wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass die Auswahl der Hersteller keinen Anspruch auf Vollständigkeit erhebt; die vorgestellten Ergebnisse sind vielmehr das Resultat projektspezifischer Sacharbeit und stellen einen Überblick für Mai 2022 dar.

Erforderliche Planungsschritte

Planungsschritte innerhalb der Machbarkeitsuntersuchung

Ausgangssituation Das konkrete Ziel eines Unternehmens ist es, die finanziellen Belastungen durch die Vakuumproduktion zu reduzieren. Hierfür lohnen sich die Modernisierung der Pumpstände sowie eine integrale Betrachtung während der Planung. Damit können nicht nur die laufenden Aufwendungen für Strom oder Betriebsmittel eingespart, sondern weiterhin Verbesserungen zugunsten der ökologischen Nachhaltigkeit erzielt werden.

Organisation Für die Umsetzung des Unternehmensziels mit den gewünschten Einsparungen sind externe Planer*innen erforderlich. In der Regel werden hierfür mehrere Pumpenhersteller für die Zusammenarbeit angefragt. Weiterhin sind neben den Experten*innen des Pumpenherstellers -

je nach Projektumfang - Ingenieur*innen für Energie- und Gebäudetechnik, bauliche Maßnahmen oder Elektrotechnik erforderlich. Diese können über ein eigenes Büro beauftragt werden. Größere Pumpenhersteller bieten aber auch eigene Komplettlösungen an.

Verfahrensprinzip Für die Planung und konzeptionelle Arbeit der Ingenieur*innen ist eine umfangreiche Bestandsaufnahme unerlässlich. Somit sollten alle beteiligten Planer*innen mindestens einmal gemeinsam mit dem/der Betreiber*in der Vakuumpumpen und bestenfalls mit dem/der Projektleiter*in eine Ortsbesichtigung durchführen. Je nach Komplexität der Aufgabenstellung ist diese so oft anzusetzen bis alle Anforderungen und bestehende Schwachpunkte der Vakuumpumpen im Bestand bekannt sind.

Entwerfen von Planungskonzepten Die Machbarkeitsuntersuchung bietet nun den Ingenieur*innen Raum, verschiedene Konzepte zu entwerfen. So können zunächst mehrere Ausführungen angedacht und untersucht werden. Dabei empfiehlt sich vor allem eine prozessübergreifende Betrachtungsweise der Vakuumproduktion. Als Ergebnis solch einer ganzheitlichen Betrachtung ergibt sich häufig eine Zentralisierung der Vakuumproduktion, also die Planung einer großen anstelle vieler kleiner Anlagen. Hiermit können neben den Einsparungen von Strom auch die Wartungs- und Personalkosten reduziert werden. Weiterhin kann so eine Verbesserung der Arbeitsbedingungen erreicht werden, da Lärm- und Wärmeemissionen zentral an eine Stelle ausgelagert werden können. Andererseits hat auch die Versorgung mit vielen einzelnen Pumpen seine Vorzüge, da jedes Gerät individuell gesteuert werden kann. Diese und weitere Vor- und Nachteile sind als Ergebnis der Machbarkeitsstudie zusammenzufassen, gegeneinander abzuwägen und vorzustellen. Die jeweiligen erforderlichen Maßnahmen, wie die Verortung einer Vakuumpumpe oder die schallschutztechnische Dimensionierung, wird im Vorentwurf ebenfalls geplant sowie kostentechnisch bewertet.

Wahl der richtigen Vakuumpumpe Die zentrale Herausforderung für die Modernisierung der Vakuumproduktion stellt die Wahl der neuen Pumpe dar. So gibt es heute eine Vielzahl an trockenlaufenden, ölgeschmierten oder flüssigkeitsbetriebenen Pumpen. Jede ermöglicht dabei eine bestimmte Bandbreite von Einsatzgebieten. Diese ist abhängig von der benötigten Saugleistung, der Vakuumqualität sowie weiteren speziellen Anforderungen, wie z.B. der Wasserdampfverträglichkeit, der Korrosionsbeständigkeit und des EX-Schutzes. Die Auswahl der richtigen Pumpe für eine gegebene Aufgabenstellung erfordert Wissen und Erfahrung. Gemeinsam mit dem/der Betreiber*in und dem/der Projektleiter*in sollten die Unterschiede der jeweiligen Pumpen aufgezeigt werden, um einen Einklang mit den unternehmensspezifischen Anforderungen zu finden. In diesem Zusammenhang kann bei der Auswahl der Pumpe auch eine Berechnung für eine geschätzte Amortisationsdauer angesetzt werden. Somit kann der/die Betreiber*in der Anlagen einen besseren Eindruck bekommen, inwieweit sich die Investitionen finanziell lohnen. Im zweiten Teil dieses Leitfadens findet sich eine Auflistung der wichtigsten Vakuumpumpen mit jeweils einer kurzen Vorstellung und Erklärung der einzelnen Typen. Weiterhin findet sich eine Auflistung der Arbeitsweisen im Grob-, Fein-, Hoch- und Ultrahochvakuumbereich.

Planungsschritte innerhalb der Entwurfsplanung

Aufgaben des Entwurfes Zunächst unterscheidet sich der Entwurf gegenüber der Machbarkeitsstudie mit der konkreten Ausplanung einer Variante. Somit wird infolge der Präsentation aus den ersten beiden Leistungsphasen zwischen allen Vor- und Nachteilen abgewogen und in der Regel ein Konzept

weiterverfolgt. Ziel ist es, für den Entwurf das Konzept detailreicher zu planen und Risiken zu minimieren.

Benötigte Fachplanungen Für den Austausch der Vakuumpumpen erstellen die Ingenieur*innen nun Pläne mit der Positionierung der neuen Vakuumpumpen. Weiterhin wird ein genaues Konzept für den Ausbau der Bestandsanlagen entwickelt sowie die Gebäudestatik mitbetrachtet. Für die Pläne werden nun auch genaue Abmessungen der Pumpen und Bauelemente inkludiert.

Zusammentragen der Ergebnisse Zum Abschluss der Entwurfsplanung werden wie für die Machbarkeitsstudie alle Planungsergebnisse zusammengetragen, präsentiert und übergeben. Darin enthalten sind neben den Grundrissen, Ansichten und der Erklärung des Sanierungskonzeptes eine Kostenberechnung und ein detaillierter Terminplan. Die Amortisationsdauer kann in diesem Zusammenhang auch erneut berechnet und mit der Kostenberechnung validiert werden.

Planungsschritte innerhalb der Genehmigungsplanung

Baugenehmigung und Brandschutzüberprüfung Die Genehmigungsplanung ist gemäß der Leistungsphase 4 der nächste Schritt für die Sanierung. In der Regel ist eine Baugenehmigung beim Austausch von Vakuumpumpen jedoch nicht erforderlich. Sollte sich im Rahmen der Machbarkeitsstudie und der Entwurfsplanung die Variante mit einer Vakuumzentrale und einem neuen Raum ergeben, ist die letzte Baugenehmigung für diese Nutzung zu überprüfen. Weiterhin ist in diesem Fall im Brandschutzgutachten nachzusehen, ob die Errichtung einer Zentrale dem Brandschutzkonzept

widerspricht. Ist dies der Fall, muss das Gutachten überarbeitet und ebenfalls genehmigt werden.

Planungsschritte innerhalb der Ausführungsplanung und Vergabe

Aufgabe der Ausführungsplanung und Vergabe Im Rahmen der Ausführungsplanung in der Leistungsphase 5 werden Detailpläne erstellt. Diese beinhalten eine exakte Verortung und Verschraubung der neuen Anlage inklusive aller technischen Anschlüsse. Sind bauliche Elemente erforderlich, werden dort zum Beispiel Wandstärken oder das verwendete Material angegeben. Kompliziertere Aufgaben sind in dieser Leistungsphase nicht nötig. Die anspruchsvolle Kernaufgabe mit der Dimensionierung und Auswahl der richtigen Pumpe ist bereits abgeschlossen

Ausführung und abschließende Schritte Die Ausführung für den Austausch der Pumpen startet mit dem Freiräumen der benötigten Fläche und dem Abbau der Pumpen im Bestand. Werden die neuen Pumpen an eine andere Stelle im Gebäude verortet, kann gleichzeitig mit dem Aufbau begonnen und damit Ausfallzeiten verkürzt werden. Die Herausforderung beim Einbau liegt größtenteils bei der Verrohrung und dem Anschluss der neuen Anlage an die Produktion.

Auswahl der richtigen Pumpe

Übersicht über relevante Pumpentypen

Inhalt und Ziel Mit den folgenden Informationen wird eine Übersicht über gängige Vakuumpumpen gemäß dem Stand der Technik gegeben (Abbildung 1). Die Pumpenhersteller bieten für jede Verfahrenstechnik zudem besondere Ausführungen ihrer Pumpentypen an. So gibt es zum Beispiel Trockenläufer, die speziell für den Umgang mit kondensierenden Stoffen oder ATEX-Schutz entwickelt wurden. Bei den betrachteten Pumpen wird generell zwischen Verdrängervakuumpumpen und den kinetischen Vakuumpumpen unterschieden. Die jeweiligen Typen wie Oszillation- oder Doppelrotorpumpen ermöglichen zuletzt verschiedene Eigenschaften.

Leitfaden zum Austausch von Vakuumpumpen

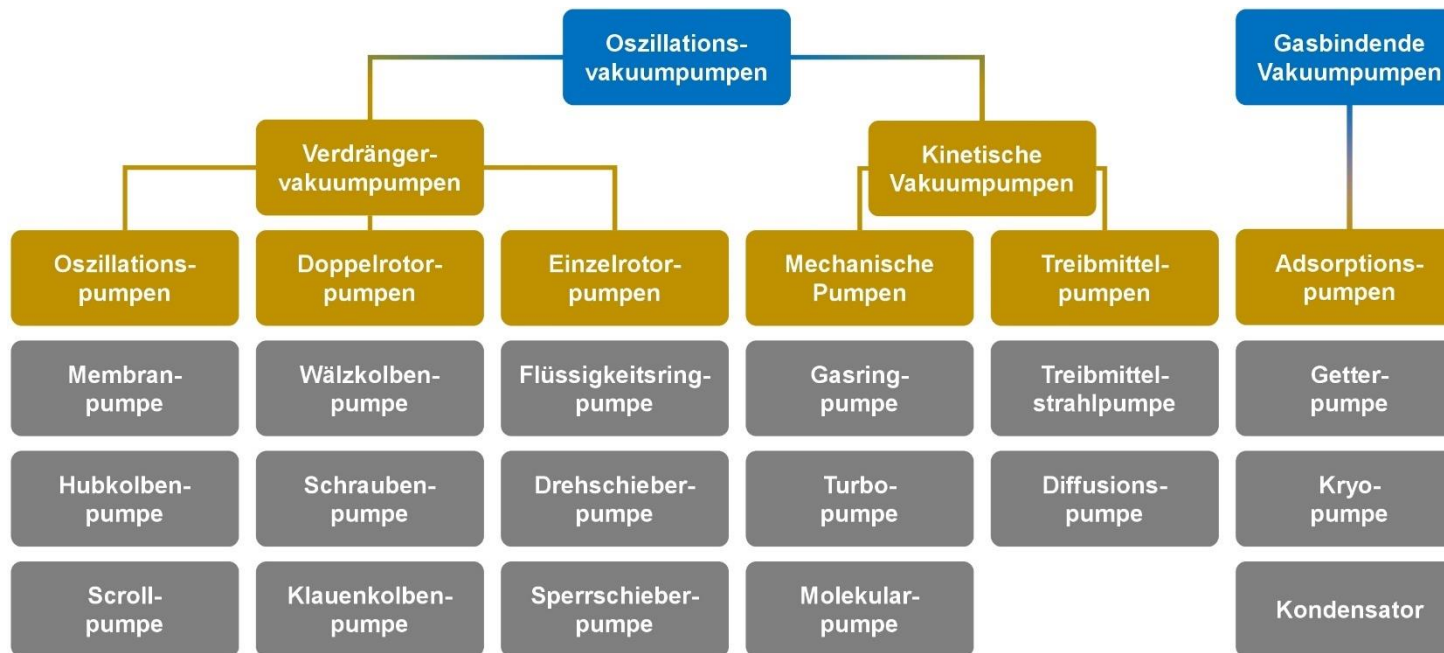


Abbildung 1: Übersicht über die wichtigsten Pumpentypen und Klassifizierungen in der Vakuumerzeugung, adaptiert nach [1].

So sind zum Beispiel Klauenkolbenpumpen trockenlaufende Pumpen ohne Betriebsmittel, während Flüssigkeitsring- und Drehschieberpumpen meist mit Wasser beziehungsweise Öl geschmiert werden. Eine Übersicht für den dabei wichtigsten Parameter, den Arbeitsbereich der Vakuumerzeugung, ist in Abbildung 2 dargestellt.

Leitfaden zum Austausch von Vakuumpumpen

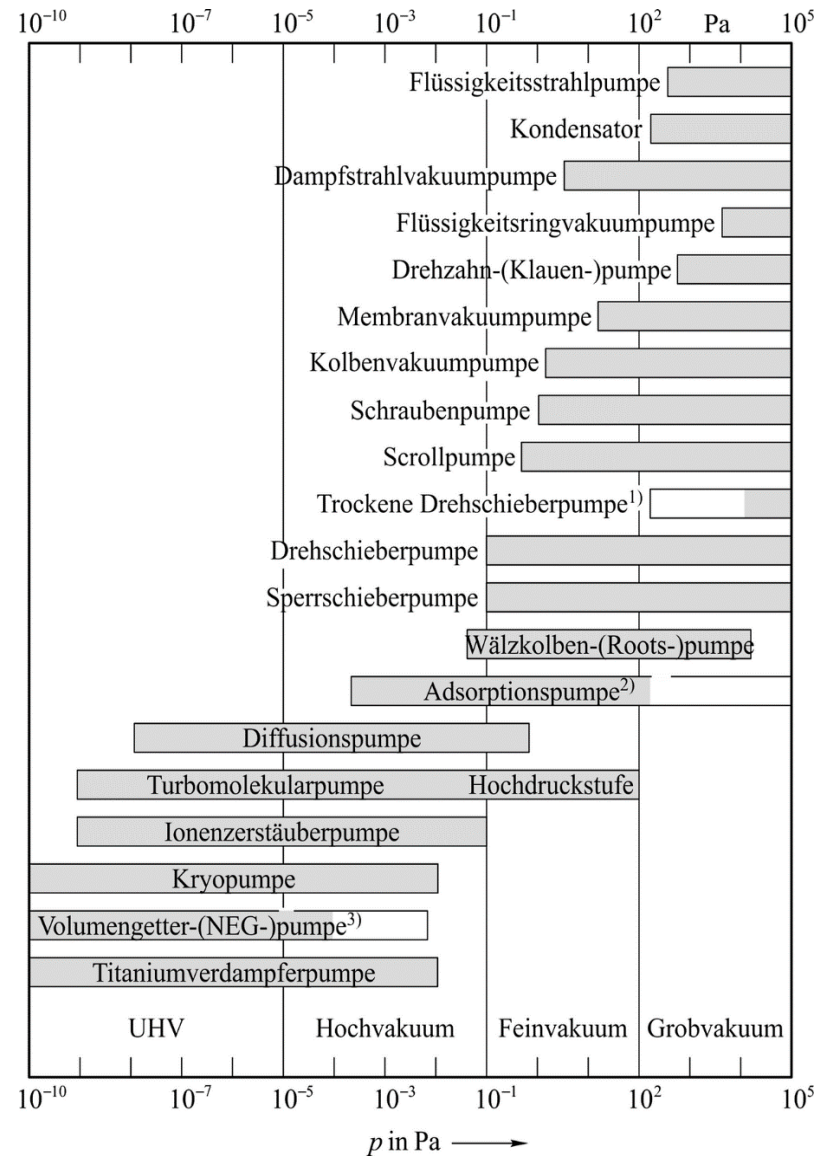


Abbildung 2: Arbeitsbereiche gängiger Pumpen, übernommen aus [1].

Details zu den relevanten Pumpen

Die nachfolgend vorgestellten Pumpen werden zu den Oszillationsverdrängerpumpen gezählt, die eine Unterordnung der Verdrängerpumpen darstellen. Sie arbeiten alle mit dem Funktionsprinzip eines oszillierenden Bauteils.

Membranpumpe Die Membranpumpe ist ein Trockenläufer ohne Schmiermittel im Innenraum. Eine Membran trennt diesen vom Antriebsraum und verhindert somit, dass Dämpfe in den Rezipienten gelangen oder umgekehrt aggressive Stoffe die Pumpe angreifen. Die Pumpe eignet sich somit besonders gut, um hochreine Vakua ohne Verunreinigungen durch Betriebsmittel im Grob- und Feinvakuumbereich zu erzeugen. Sie erreicht Drücke unter 1 mbar. Dabei sind kleine Fördermengen bis zu 20 Kubikmeter pro Stunde bei einer Pumpe wirtschaftlich umsetzbar [1]. Sie kann zum Beispiel als Alternative zur Wasserstrahlpumpe verwendet werden und durch die Vermeidung des Abwassers als Trockenläufer bis zu 90% der Betriebskosten einsparen [2]. Weiterhin ist sie für die Förderung von explosionsfähigen Gemischen geeignet [1]. Zuletzt wird die Pumpe aufgrund ihrer ölfreien Produktion auch als Vorpumpe wertgeschätzt. In Abbildung 3 ist das Funktionsprinzip einer Membranpumpe dargestellt.

Hubkolbenpumpe Die Hubkolbenpumpe ist in der Lage kleine bis mittlere Saugleistungen und Enddrücke bis in den Feinvakuumbereich zu produzieren. In der Regel sind Mengen bis zu 2.000 Kubikmeter pro Stunde möglich und bei mehrstufiger Ausführung bis zu 10-2 mbar wirtschaftlich umsetzbar [2].

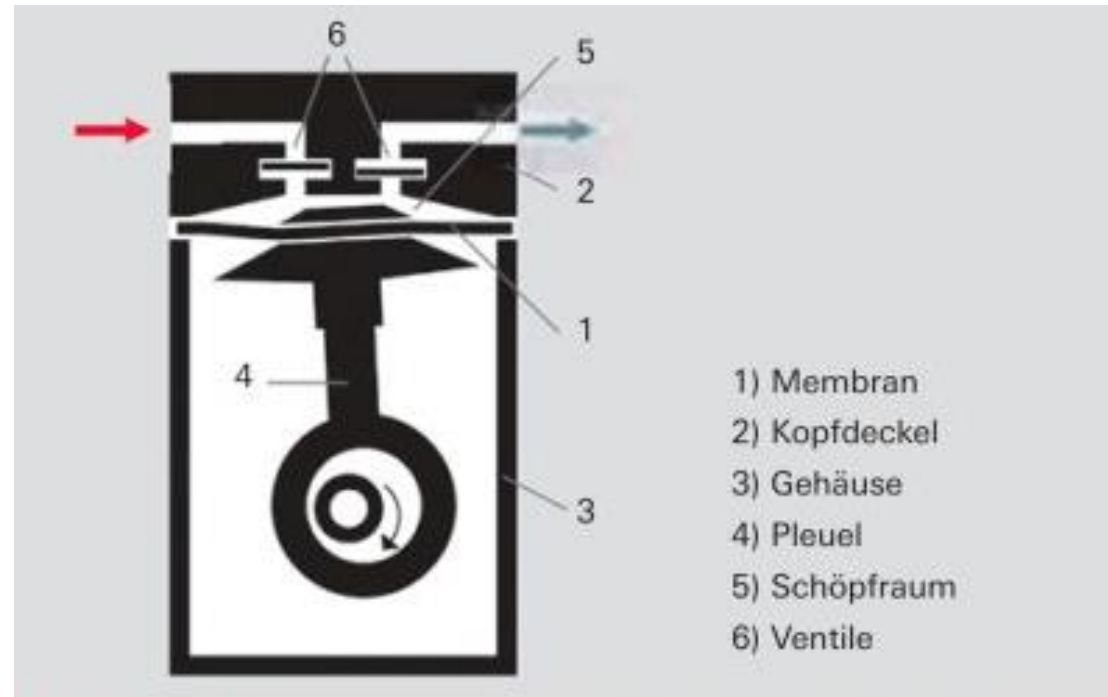


Abbildung 3: Funktionsprinzip einer Membranvakuumpumpe, übernommen aus [3].

Die Pumpe ist ebenso ein Trockenläufer und produziert ein sauberes, ölfreies Vakuum. Somit kann sie auch als Vorpumpe für ölfreie Anwendungsbereiche zum Beispiel für Turbomolekularpumpen im Ultrahochvakuumbereich eingesetzt werden. Bei der Förderung von Dämpfen ist der Einbau eines Gasballastes möglich. Im Gegensatz zur Membranpumpe können bei dieser Ausführung Gase in den Arbeitsraum gelangen und zu Korrosion führen [1]. In Abbildung 4 ist das Funktionsprinzip einer Hubkolbenpumpe dargestellt.

Explosionsschutz befindet sich derzeit in der Entwicklung. In Abbildung 5 ist das Funktionsprinzip einer Scrollvakuumpumpe dargestellt.

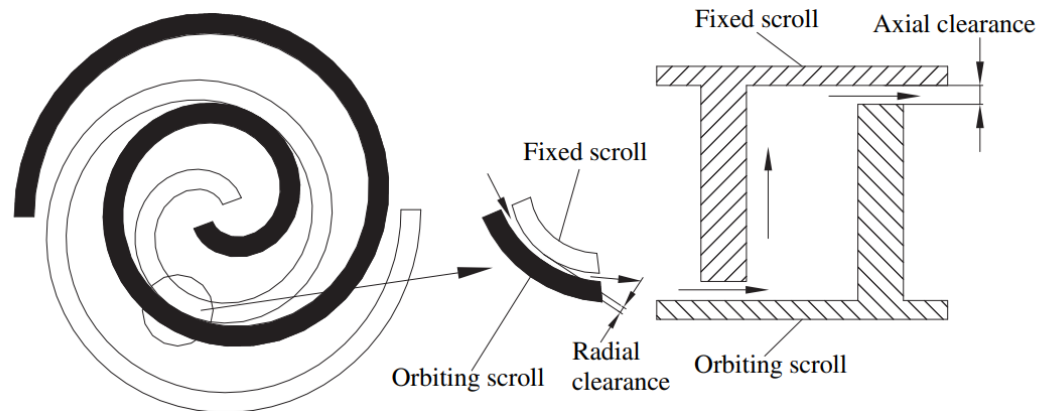


Abbildung 5: Funktionsprinzip einer Scrollvakuumpumpe, übernommen aus [7].

Doppelrotorpumpen Die nächsten drei Vakuumpumpen (Wälzkolbenpumpe, Schraubenpumpe und Klauenkolbenpumpe) gehören zu den Doppelrotorverdrängerpumpen. Bei ihnen sind im Innenraum immer zwei Rotoren verbaut.

Wälzkolbenpumpe Die Wälzkolbenpumpe (oder auch Roots-Pumpe und Booster genannt) ist eine trockenlaufende Verdrängerpumpe. Sie produziert im Einzelbetrieb im Grob- bis Feinvakuumbereich. Mehrstufig sind Drücke im Fein- bis Hochvakuum möglich. Im Innenraum der Pumpe drehen sich zwei Rotoren gegenläufig synchron, die die Gase aus dem Rezipienten absaugen und in Richtung des Auslassventils beschleunigen. Sie ermöglicht dabei hohe Saugleistungen über mehrere 1.000 Kubikmeter pro Stunde. Somit ersetzt sie

häufig aufgrund ihrer ökologischen und ökonomischen Vorteile die ölgeschmierte Drehschieberpumpe [3]. Bei der Führung von Dämpfen ist der Einbau eines Gasballastes erforderlich. Für sie werden auch Modelle mit Explosionsschutz angeboten. In Abbildung 6 ist das Funktionsprinzip einer Wälzkolbenpumpe dargestellt.

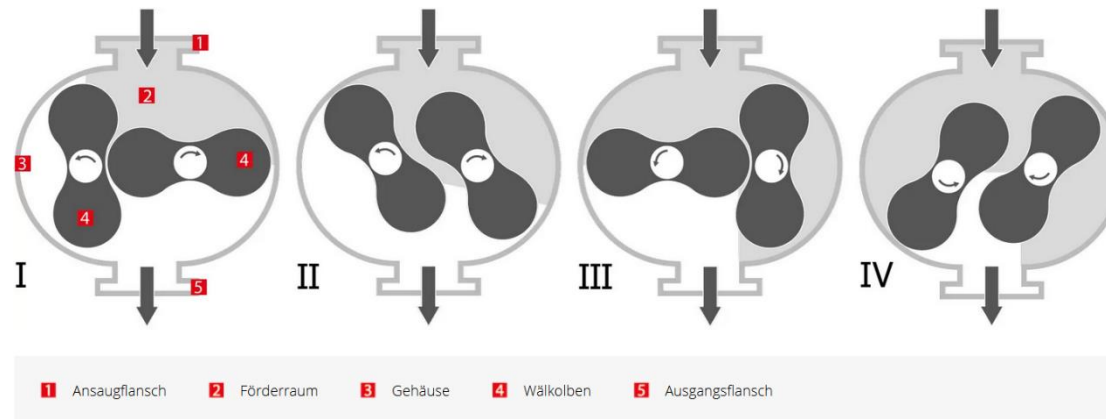


Abbildung 6: Funktionsprinzip einer Wälzkolbenpumpe, übernommen aus [8].

Schraubenpumpe Die Schraubenpumpe besteht ähnlich wie die Wälzkolbenpumpe aus zwei gegeneinander laufenden Rotoren. Sie fördert in der Regel mittlere Saugleistungen bis zu 2.500 Kubikmeter pro Stunde. Ähnlich wie die bisher vorgestellten Modelle der Verdrängerpumpen arbeitet die Schraubenpumpe im Grob- bis Feinvakuumbereich. Sie gehört durch ihre hohen Anforderungen in den Fertigungstechniken zu den moderneren Pumpen. Durch ihre niedrigen Betriebskosten und zuverlässige Arbeit kann sie die ölgeschmierten Dreh- und Sperrschieberpumpen im mittleren bis hohen Saugleistungsbereich ersetzen, um Einsparungen zu erzielen [2]. Sie ermöglicht einstufig bereits Drücke in Bereichen um bis zu 0,1 mbar und hat eine gute Wasserdampfverträglichkeit [9]. Bei der Verwendung einer Vorpumpe

sind noch höhere Vakuumqualitäten bis in den Hochvakuumbereich möglich [1]. Durch die spiralförmige Anordnung der Rotoren wird kondensierendes Wasser mit dem Gas abtransportiert. Somit ist die Pumpe im Vergleich zu den anderen Vakuumpumpen auch ohne Gasballast unempfindlicher gegen kondensierende Dämpfe. Für die Schraubepumpe werden auch Modelle mit Explosionsschutz (ATEX-Schutz) angeboten. In Abbildung 7 ist das Funktionsprinzip einer Schraubepumpe dargestellt.

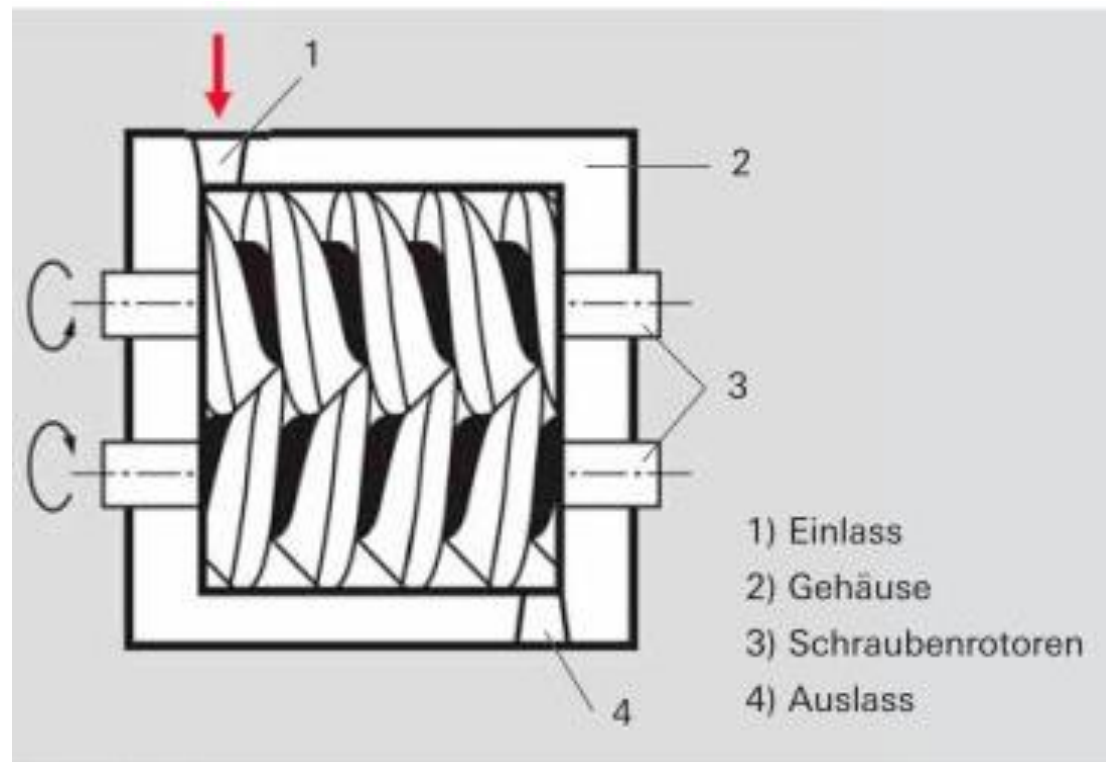


Abbildung 7: Funktionsprinzip einer Schraubepumpe, übernommen aus [3].

Klauenkolbenpumpe Die Klauenkolbenpumpe nutzt das Prinzip der Wälzkolbenpumpe und optimiert mit ihren klauenförmigen Rotoren das Funktionsprinzip. Sie ist ebenso ein Trockenläufer und produziert im Grob- bis Feinvakuumbereich. Von den beiden ist sie die energetisch günstigere Variante [1]. Die Saugleistungen liegen bei den gängigen Modellen unter 1.200 Kubikmeter pro Stunde [5]. Dabei kann sie einstufig oder als mehrstufige Variante eingebaut werden. Durch ihre robuste und effiziente Technik ist die Klauenpumpe in vielen Anwendungsbereichen Stand der Technik geworden [1]. Für die Klauenpumpe werden ebenfalls Modelle mit ATEX-Schutz angeboten. In Abbildung 8 ist das Funktionsprinzip einer Klauenpumpe dargestellt.

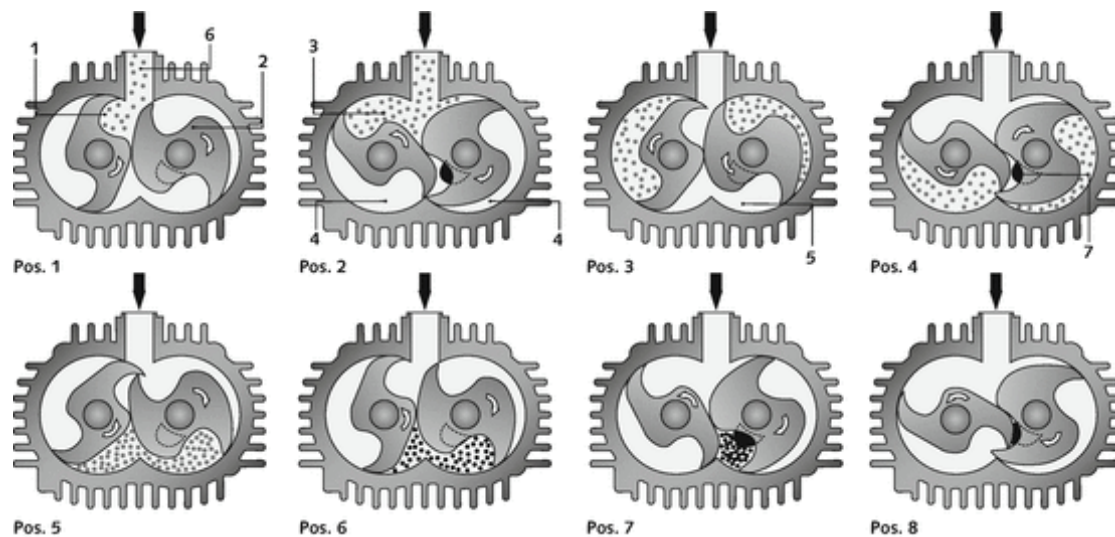


Abbildung 8: Funktionsprinzip einer Klauenkolbenpumpe, übernommen aus [1].

Einzelrotorpumpen Die folgenden drei Pumpen (Flüssigkeitsringpumpe, Drehschieberpumpe und Sperrschieberpumpe) gehören zu den Einzelrotorverdrängerpumpen. Im Gegensatz zu den Doppelrotorpumpen ist bei ihnen im Innenraum nur ein Rotor verbaut.

Flüssigkeitsringpumpe Flüssigkeitsringpumpen zeichnen sich besonders durch ihre hohe Verträglichkeit gegenüber Wasserdampf und anderen kondensierbaren Stoffen aus. Mit ihr können nahezu alle Gase und Dämpfe abgesaugt werden [1]. Die isotherme Verdichtung im Inneren erlaubt eine hohe Effizienz und vereinfacht den Transport von polymerisierenden Stoffen [10]. Sie vereint das Aufgabenfeld einer Vakuumpumpe und eines Nassabscheiders. Dabei kann ein Vakuum bis zum Dampfdruck des Betriebsmittels erzeugt werden. Typischerweise wird als Flüssigkeit Wasser verwendet. Die Saugleistung liegt im mittleren bis hohen Bereich und ermöglicht weniger als 10 bis mehrere 10.000 Kubikmeter pro Stunde [5]. Während des Betriebs ist darauf zu achten, die Wärmeenergie aus der Produktion, die in die Betriebsflüssigkeit übertragen wurde, abzugeben. Andernfalls würde beim Zirkulieren der Betriebsflüssigkeit die Temperatur, der Dampfdruck und somit auch der Enddruck steigen. Durch eine konstante Frischwasserzufuhr oder einen Wärmetauscher wird die Wasserringpumpe mit einer gleichmäßigen Betriebsmitteltemperatur versorgt. Während der Absaugung der Gase kann das Betriebsmittel kontaminiert werden, sollte die Pumpe gesundheits- oder umweltschädliche Stoffe aus dem Rezipienten fördern. Das typischerweise hierfür verwendete Frischwasser benötigt folglich eine Abwasserreinigung und führt zu erhöhten Betriebskosten. Sie ist ebenso wie einige Trockenläufer (z.B. Membran- oder Wälzkolbenpumpe) geeignet für die Förderung von explosiven Stoffen [5]. In Abbildung 9 ist das Funktionsprinzip einer Flüssigkeitsringvakuumpumpe dargestellt.

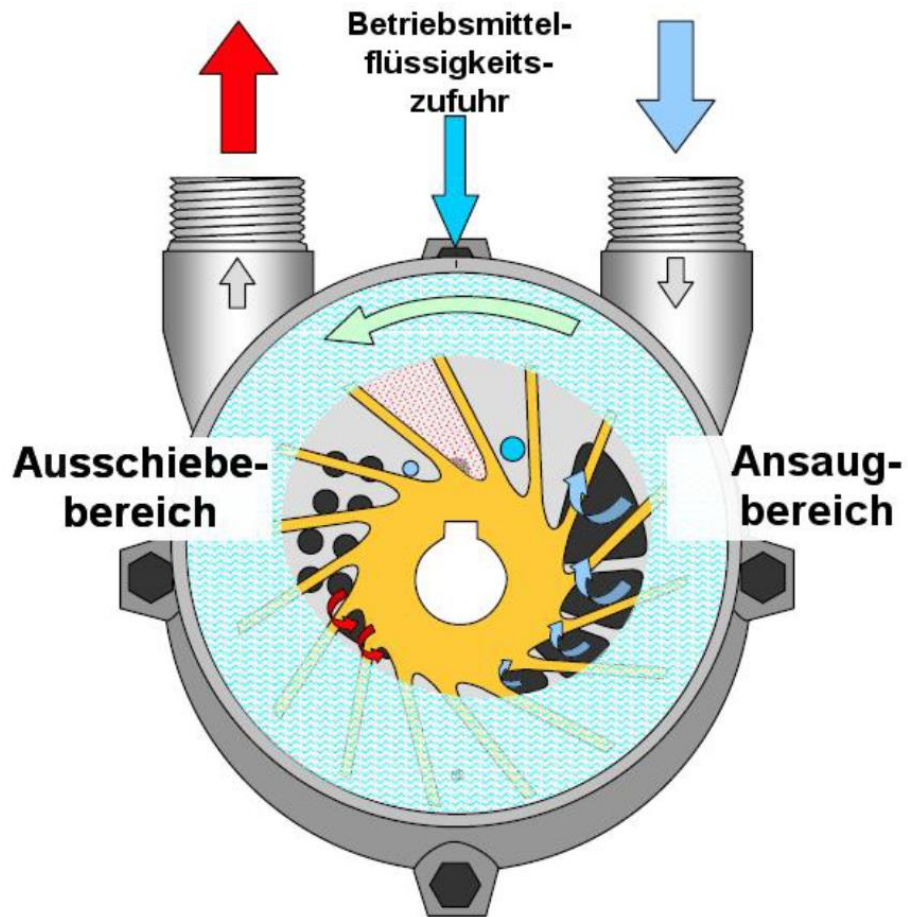


Abbildung 9: Funktionsprinzip einer Flüssigkeitsringpumpe, übernommen aus [11].

Drehschieberpumpe Die Drehschieberpumpe ist eine trockenlaufende oder ölgeschmierte Vakuumpumpe. Der maximal mögliche Enddruck und die Lebensdauer steigt dabei von der trockenlaufenden zur ölgeschmierten Pumpe [1].

Trockenlaufende Drehschieberpumpen haben im Gegensatz zur Ölvariante geringere Betriebskosten, jedoch eine höhere Abnutzung. Die Pumpe ist auch unter dem Namen Vielzellenvakuumpumpe bekannt. Sie ermöglicht eine Qualität an der Grenze zwischen dem Fein- und Hochvakuumbereich [2]. Die Saugleistung liegt in der Regel bei unter 1.600 Kubikmeter pro Stunde [1]. Für die Förderung von Dämpfen sollte ein Gasballast eingebaut werden, um die Schmierflüssigkeit nicht mit kondensierenden Stoffen zu vermischen. Weiterhin hilft ein Ölnebelabscheider am Ein- und Auslassventil, um zu verhindern, dass das Schmiermittel in den Rezipienten gelangt oder durch den Auspuff verloren geht. Bei dem Verbau eines Gasballastes ist ein Abscheider zwingend erforderlich, da sonst zu viel Öl als Aerosol abgesaugt wird [12]. Am Einlass kann hierfür auch eine Kühlfalle installiert werden. Die Drehschieberpumpe wird ebenfalls mit Explosionsschutz angeboten. In Abbildung 10 ist das Funktionsprinzip einer ölgeschmierten Drehschieberpumpe dargestellt. Ein Trockenläufer ist ähnlich aufgebaut, hat in der Regel aber sieben Schieber anstelle der drei in der Abbildung, um die Lebensdauer der Schieber zu verlängern [1].

Sperrschieberpumpe Sperrschieberpumpen sind ölgeschmierte Einzelrotorverdränger-pumpen. Sie können ein- oder mehrstufig eingesetzt werden und produzieren Vakuum im Grob- und Feinvakuumbereich [1]. Weiterhin können andere trockenlaufende Pumpen wie zum Beispiel die Wälzkolbenpumpe als Vorstufe verwendet werden. In der Regel sind dabei Leistungen bis zu 500 Kubikmeter pro Stunde möglich [1].

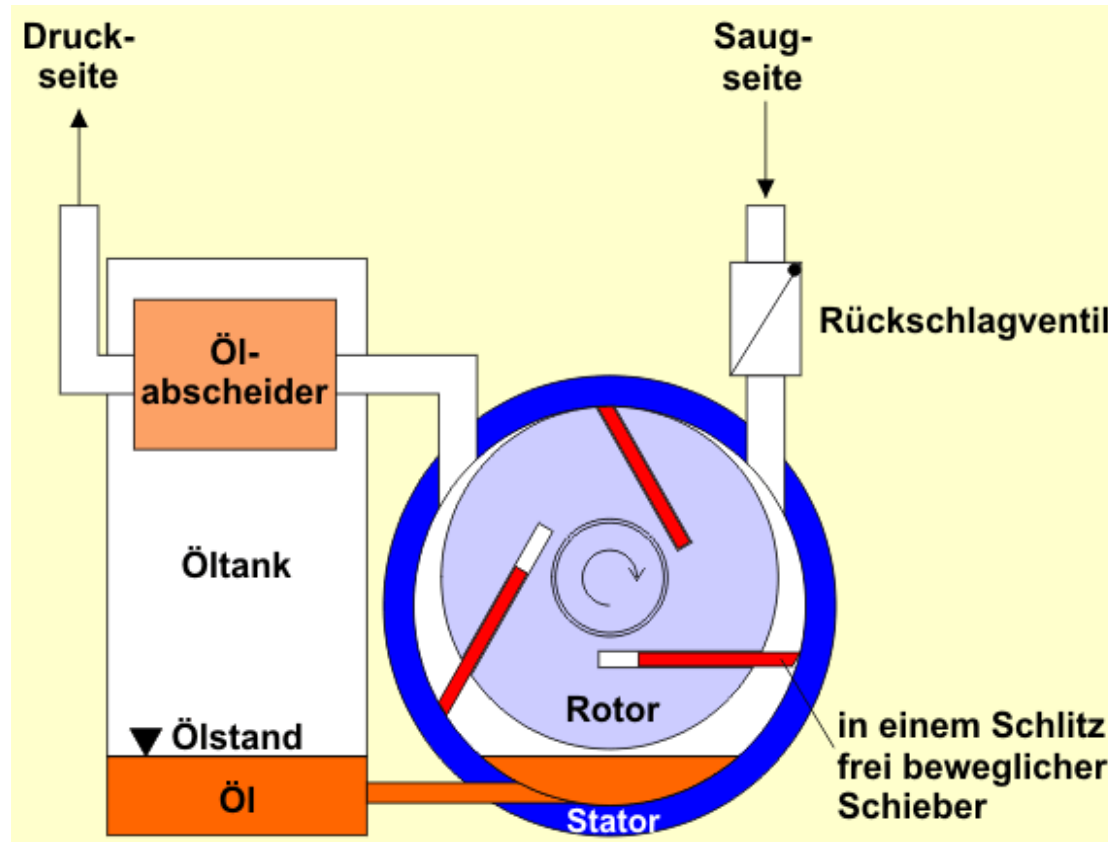


Abbildung 10: Funktionsprinzip einer Drehschieberpumpe, übernommen aus [13].

Der Einbau eines Gasballastes wird bei der Förderung von Dämpfen wie bei allen bisherigen Vakuumpumpen benötigt [14]. Auch sollte ein Ölabscheider verwendet werden, um zu verhindern, dass Kohlenwasserstoffe in den Rezipienten gelangen und das Vakuum verschmutzen. In Abbildung 11 ist das Funktionsprinzip einer Sperrschiebervakuumpumpe dargestellt.

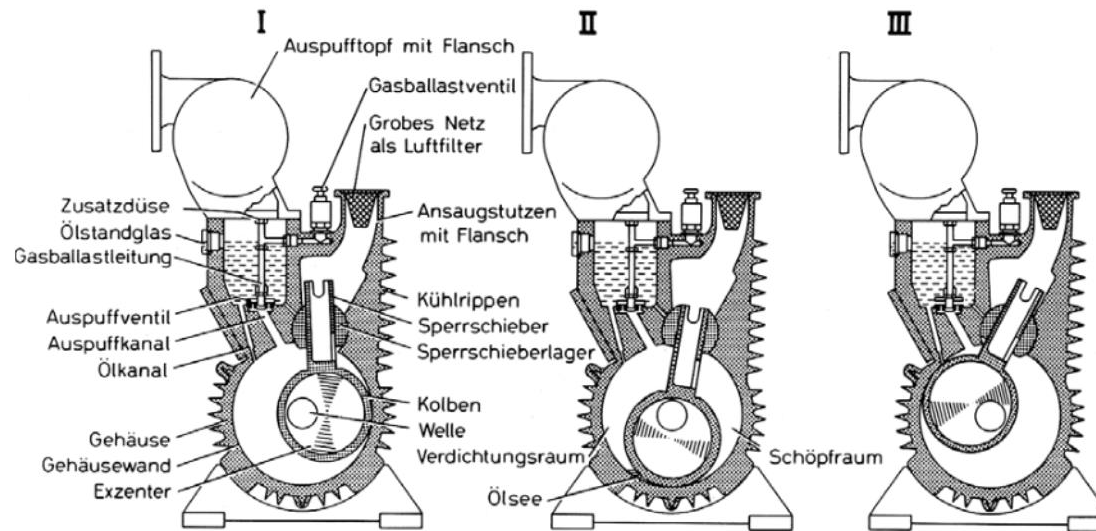


Abbildung 11: Funktionsprinzip einer Sperrschieberpumpe, übernommen aus [14].

Gasringpumpe Die Gasringpumpe (hier als erste vorgestellte kinetische Vakuumpumpe) arbeitet im niedrigen Druckdifferenzbereich von unter 10^3 mbar und die gängigen Modelle sind in der Lage hohe Saugleistungen von über 1.000 Kubikmeter pro Stunde zu produzieren [15]. Der Pumpentyp ist auch unter dem Namen Seitenkanalgebläse bekannt. Die Pumpe zeichnet sich durch ihren einfachen und robusten Ablauf bei geringen Geräuschemissionen aus [9]. Der Einbau kann ein- oder mehrstufig erfolgen. Sie wird als Alternative zur ölüberlagerten Drehschieberpumpe oder Flüssigkeitsringpumpe eingesetzt, um Betriebskosten einzusparen. Für die Pumpe werden auch Modelle mit ATEX-Schutz angeboten. In Abbildung 12 ist das Funktionsprinzip einer Gasringvakuumpumpe dargestellt.

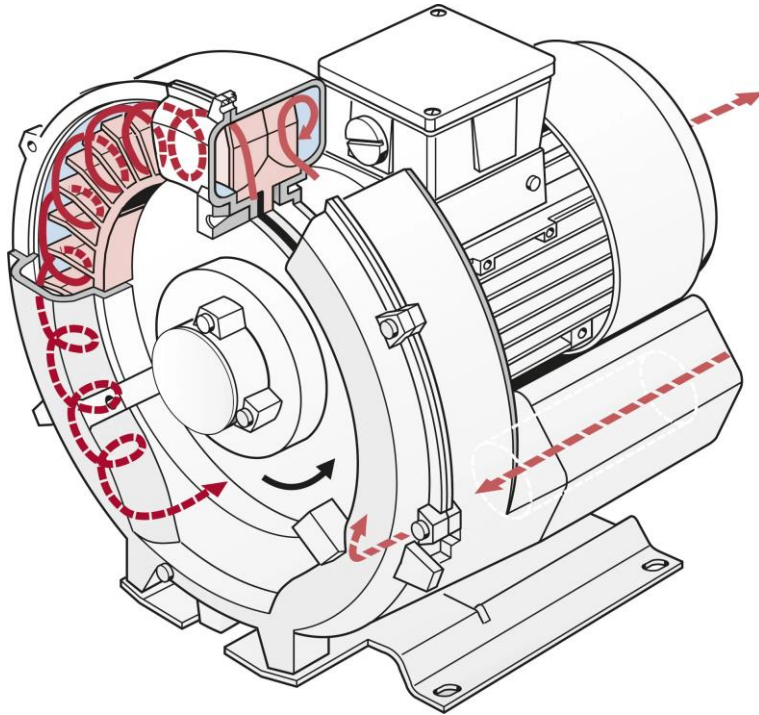


Abbildung 12: Schemazeichnung einer Gasringpumpe, übernommen aus [16].

Turboverdichter Ein Turboverdichter ist wie eine Turbine aufgebaut und saugt Gase an. Das Prinzip eines Kompressors, Luft anzusaugen, wird genutzt und an einen Rezipienten angeschlossen. Ein Turboverdichter kann als Radial- oder Axialkompressor hergestellt werden. Bei der radialen Variante strömt das Gas axial in die Pumpe und wird radial abgelenkt, bei der axialen Verdichtung strömt das Gas immer parallel zur Welle. Der Pumpentyp ist ein Trockenläufer und fördert große Saugmengen über mehrere 10.000 Kubikmeter pro Stunde im Grob- bis Feinvakuumbereich [3]. Für kleine Volumenströme ist die Pumpe eher ungeeignet. Der Enddruck ist abhängig von der Bauart der Pumpe und steigt mit steigender Rotorezahl an. Ihr Anwendungsbereich liegt zum

Beispiel in der Papierindustrie oder der kommunalen Siedlungswasserwirtschaft [9]. Die Pumpe arbeitet unter geringen Wartungs- und Instandhaltungskosten. In Abbildung 13 ist das Funktionsprinzip einer Turbopumpe dargestellt.

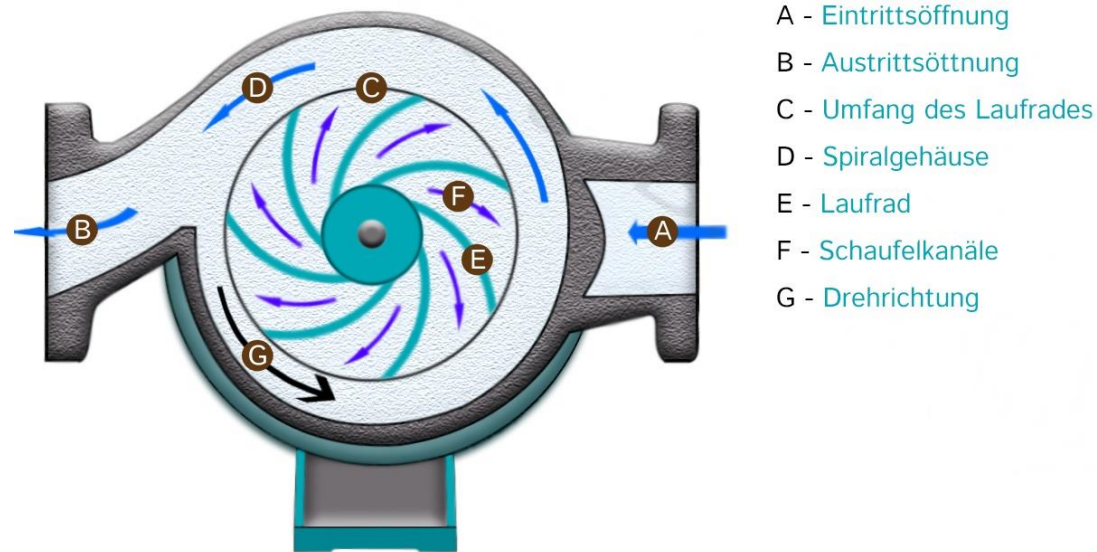


Abbildung 13: Funktionsprinzip eines Radialverdichters, adaptiert nach [9].

Turbomolekularpumpe Die Turbomolekularpumpe funktioniert wie eine Turbopumpe und besteht aus mehreren Schichten Statoren und Rotoren. Die Schaufeln der Pumpe stehen dabei schräg zur Drehrichtung und erzeugen eine molekulare Strömung. Diese ist gegeben, wenn sich die Schaufeln mindestens mit der mittleren Geschwindigkeit der Gasteilchen drehen, um den Impuls zu übertragen und die freie Weglänge der Gasteilchen im Abstand zueinander größer ist als die Abstände der Innenräume [1]. Somit wird ein Molekül, sobald es auf eine Turbinenschaufel trifft, durch dessen Impuls in Rotationsrichtung beschleunigt. Die Pumpe kann dabei Enddrücke bis in den

Ultrahochvakuumbereich erreichen [3]. Für eine Turbomolekularpumpe ist bei hohen Enddrücken zwingend eine Vorpumpe erforderlich, um eine Molekularströmung zu ermöglichen und die Pumpe nicht zu beschädigen. Weiterhin verdichtet die Vorpumpe auf Umgebungsdruck und erhöht das Kompressionsverhältnis [2]. Dabei sollten keine Verunreinigungen durch die Vorpumpe entstehen oder im Rezipient vorliegen. Für die hohen Drehzahlen der Rotoren können mechanische Lager wie fett- und ölgeschmierte Kugellager oder Magnetlager verwendet werden. Bei der Absaugung von sehr leichten Gasen, wie Wasserstoff oder Helium, sinkt das Saugvermögen aufgrund der molekularen Strömung. In Abbildung 14 ist das Funktionsprinzip einer Turbomolekularvakuumpumpe dargestellt.



Abbildung 14: Schnitt durch eine Turbomolekularpumpe, mit freundlicher Bereitstellung durch die Pfeiffer Vacuum GmbH.

Treibmittelstrahlpumpe Treibmittel-Strahlpumpen werden anhand ihres Treib- und Saugmediums unterschieden. Nach Treibmedium gibt es Flüssigkeits-, Gas- und Dampfstrahlpumpen, die jeweils Flüssigkeiten, Gase, Dämpfe oder Feststoffe absaugen und fördern können. Das Funktionsprinzip bei jeder der drei ist nahezu identisch und ist in Abbildung 15 dargestellt.

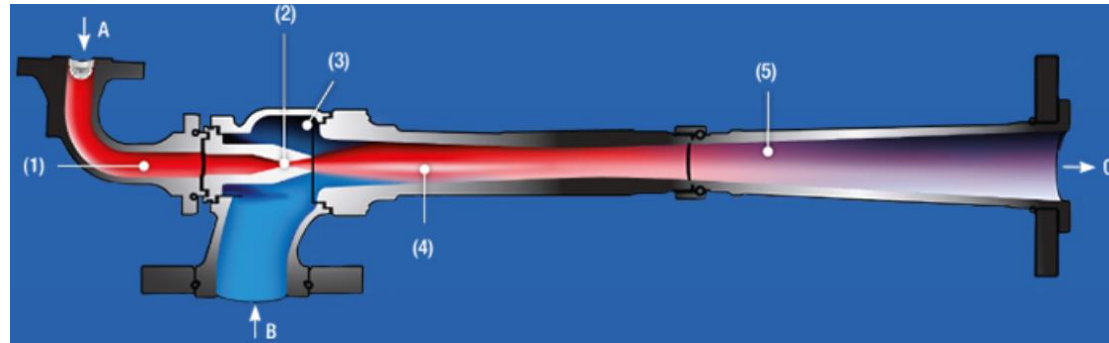


Abbildung 15: Funktionsprinzip einer Treibmittelstrahlpumpe, übernommen aus [17].

Bei (A) wird das Treibmittel (flüssig, gas- oder dampfförmig) mit hohem Druck eingeführt. In der Treibdüse (2) wird der Druck des Treibmittels in Geschwindigkeit umgewandelt und so ein Unterdruck erzeugt. Das aus der Richtung (B) aus dem Rezipienten einströmende Saugmedium wird somit angesaugt, mit dem Treibmittel vermischt und dann auf ein höheres Druckniveau am Austritt (C) verdichtet. Strahlvakuumpumpen können große Saugleistungen bis über 1.000.000 Kubikmeter pro Stunde beim Einsatz in der Stahlgasung, in Speiseölraffinerien oder in Erdölraffinerien realisieren. Sie sind jedoch auch für kleine Volumina zum Beispiel in Laboren bis in den Feinvakuumbereich geeignet [18]. Da dieser Pumpentyp ohne bewegte Teile funktioniert, zeichnet er sich durch hohe Zuverlässigkeit, beliebige Werkstoffauswahl und niedrige Anschaffungskosten aus [18].

Diffusionspumpe Diffusionspumpen sind Strahlpumpen im Hoch- bis Ultrahochvakuumbereich. Sie werden in der Regel mit Mineralöl als Treibmittel betrieben, bei besonderen Anforderungen kommen auch Ester und Äther zum Einsatz. Die Saugleistungen der Pumpe liegen typischerweise im hohen Bereich von über 100.000 Kubikmeter pro Stunde. Der Einbau erfordert zwingend eine Vorvakuumstufe, da das maximale Kompressionsverhältnis nicht ausreicht, um im höheren Hochvakuumbereich auf Atmosphärendruck zu verdichten [19].

Einsatzgebiete der Pumpen

Planung einer Produktion Die Auswahl der Pumpe ist primär abhängig von der benötigten Vakuumqualität und der benötigten Saugleistung. Weiterhin sind Angaben zur Wasserdampfverträglichkeit oder des Kesselvolumens entscheidend, welche Pumpe für den Einsatz gewählt wird. Die nachfolgenden Tabellen zeigen eine Zusammenfassung mit den relevantesten Pumpen und Pumpenkombinationen aufgeteilt nach dem Grob-, Fein- und Hochvakuumbereich. Gemäß dieser Einteilung entscheiden die Pumpenhersteller, für welche Anwendungsbereiche sie ihre Produkte empfehlen können.

Grobvakuum Das Grobvakuum ist von Umgebungsdruck bis 1 mbar festgelegt und hat somit die niedrigsten Anforderungen an alle Bauteile. Aus den vorgestellten Pumpen kann in der Regel über Tabelle 1 eine erste Auswahl getroffen werden. Weiterhin ist wichtig mit dem Pumpenhersteller zu klären, ob spezielle Anforderungen vorliegen, wie zum Beispiel das Vorliegen kondensierender Dämpfe oder explosiver Gase.

Tabelle 1: Übersicht über Vakuumpumpenarten und deren jeweiligen Saugvermögens- und Druckbereich.

Pumpenart	Saugvermögensbereich (m³/h)	Druckbereich (mbar)
Trockene Klauenpumpe	40-1.000	> 50
Flüssigkeitsringpumpe	10-20.000	> 50
Flüssigkeitsstrahlpumpe	20-100.000	> 50
Vielzellenpumpe	1-5.000	> 50
Kondensator	Keine Angabe	> 50
Turbopumpe	Keine Angabe	> 50
Gasringpumpe	50-1.000	> 50
Drehschieberpumpe	1-1.600	< 50
Sperrschieberpumpe	100-500	< 50
Schraubenpumpe	70-7.000	Beliebig im Grobvakuum
Scroll-Pumpe	1-35	Beliebig im Grobvakuum
Hubkolbenvakuumpumpe	1-2.000	Beliebig im Grobvakuum
Membranpumpen	1-20	Beliebig im Grobvakuum
Dampfstrahlpumpe	20-100.000	Beliebig im Grobvakuum
Wälzkolbenpumpe	20-25.000	Beliebig im Grobvakuum

Feinvakuum Für das Feinvakuum von 1 bis 10^{-3} mbar werden bereits erhöhte Anforderungen an Pumpe und Bauteile gestellt. Gemäß Abbildung 2 beschränkt sich die Pumpenauswahl auf die Dampfstrahl-, Kolben-, Schrauben-, Scroll-, Drehschieber-, Sperrschieber-, Wälzkolben- und Adsorptionspumpen. Um mit dieser Auswahl zu einem idealen Ergebnis zu kommen, wurde im Handbuch der Vakuumtechnik von Dr. Karl Jousten folgender Katalog mit 14 Fragen erstellt, um gemeinsam mit dem Pumpenhersteller oder Fachplaner eine Lösung zu erarbeiten:

- 1) Welches Medium oder welche Medien sind abzupumpen (Gase, Dämpfe oder Gas-Dampf-Gemische: In welcher Zusammensetzung, insbesondere mit welchem Wasserdampfgehalt?)
- 2) Welche Menge dieser Medien sollen in welcher Zeit abgepumpt werden?
- 3) Art und Menge eventuell anfallender korrosiver Medien
- 4) Temperatur des abzupumpenden Mediums
- 5) Wie groß ist der Startdruck (meist der Umgebungsdruck)?
- 6) Welcher Arbeitsdruck soll von dem Pumpenaggregat erreicht werden?
- 7) Wie hoch ist die Umgebungstemperatur des Pumpenaggregats?
- 8) Abmessungen des Pumpenaggregats (mit Motor), Gewicht des Pumpenaggregats (mit Motor), räumlicher Abstand des Pumpenaggregats von der Anlage
- 9) Wie groß ist das innere Volumen der Anlage?
- 10) Wie groß ist die Leckagerate?
- 11) Art und Größe des Ansaugflansche an der Anlage
- 12) Welche Netzspannung und welche Stromart (Drehstrom oder Wechselstrom) sind vorhanden (zulässiger Einschaltstrom)?
- 13) Elektrische Leistungsaufnahme des Pumpenaggregats
- 14) Welche Treibmittel stehen zur Verfügung (Wasserdampf oder Öl), Dampfkosten?

Hochvakuum Für das Hochvakuum von 10^{-3} bis 10^{-7} mbar beschränkt sich die Auswahl der möglichen Pumpen weiter. In der Regel empfiehlt sich hier eine Kombination mit einer Drehschieber- oder Sperrschieberpumpe mit einer Turbomolekular- oder Diffusionspumpe. Die Vorpumpen als Dreh- oder Sperrschieberpumpe arbeiten bis in den hohen Feinvakuumbereich. Die

Turbomolekular- oder Diffusionspumpe übernimmt dann das Vakuum und deckt den Hochvakuumbereich ab. Eine graphische Übersicht ist in Abbildung 16 dargestellt.

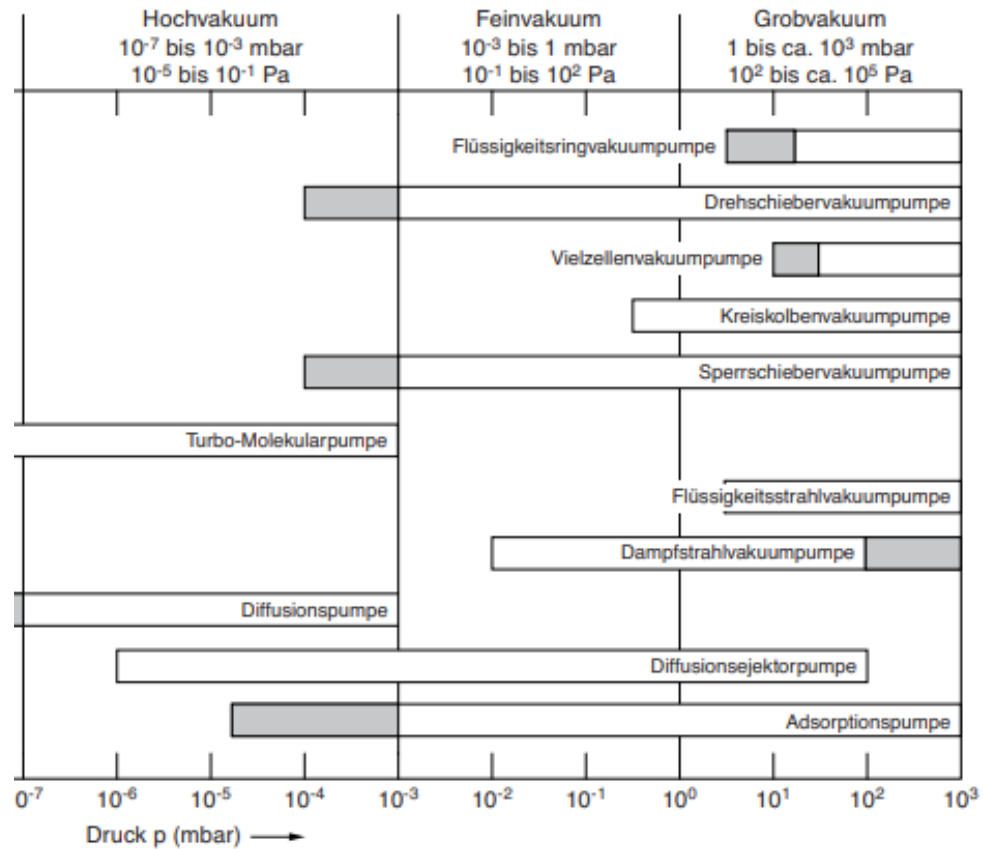






Abbildung 16: Einsatz von Pumpen im Hochvakuum, übernommen aus [3].

Fazit

Zusammenfassend lässt sich aus Berichten bereits durchgeführter Sanierungen in deutschen Unternehmen ein Potenzial beim Austausch älterer Vakuumpumpen erkennen. Weiterhin legten die Hersteller in die Entwicklung der Pumpen der neueren Generation einen Schwerpunkt auf das Thema Nachhaltigkeit. Intelligente Systeme, wie eine App-Steuerung oder variable drehzahlgeregelte Pumpen auf einem dynamischen Sollwert, ermöglichen neue Chancen im alltäglichen Betrieb. Weiterhin gibt es von jedem Modell spezielle Ausführungen seitens der Hersteller. So wurden einzelne Typen entwickelt, welche besonders für den Einsatz mit Dämpfen oder Explosionsschutz geeignet sind. Abschließend sollte die Vakuumproduktion nicht für jede Pumpe einzeln, sondern ganzheitlich bewertet werden.

Anbieter

Eine alphabetische, unvollständige Auflistung verschiedener Anbieter und Planungsbüros für Vakuumpumpen kann der nachfolgenden Tabelle entnommen werden.

	Kontaktinformationen	Adresse
	Kundenservice Web: https://www.atlascopco.com/de-de/vacuum-solutions	Atlas Copco GmbH Langemarckstraße 35 45141 Essen, Deutschland
	Kundenservice E-Mail: info@busch.de Tel.: +49 7622 6810 Web: https://www.buschvacuum.com/de/de/	Dr.-Ing. K. Busch GmbH Schauinslandstraße 1 79689 Maulburg, Deutschland
	Kundenservice E-Mail: info@plasma.com Tel.: +49 7458 99931 0 Web: https://www.plasma.com/	Diener electronic GmbH + Co. KG Nagolder Straße 61 72224 Ebhausen, Deutschland
	Kundenservice E-Mail: info@ehrlerebeck.com Tel.: +49 7159 40850 Web: https://ehrlerebeck.com/de/	Ehrler & Beck GmbH Industriestraße 16 71272 Renningen, Deutschland

Leitfaden zum Austausch von Vakuumpumpen

	Kontaktinformationen	Adresse
	Kundenservice Kontaktformular: https://www.gardnerdenver.com/en-us/elmorietschle/modals/contact Tel.: +49 7622 392 0 Web: https://www.gardnerdenver.com/de-de/elmorietschle	Gardner Denver Schopfheim GmbH Johann-Sutter-Straße 6+8 79650 Schopfheim, Deutschland
 Gesellschaft für Umwelttechnologie mbH Wasser · Boden · Luft	Kundenservice E-Mail: info@gutmbh.de Tel.: +49 6031-7142-0 Web: http://www.gutmbh.de	GUT Gesellschaft für Umwelttechnologie mbH Usinger Straße 32 61169 Friedberg-Ockstadt, Deutschland
	Kundenservice E-Mail: info@koerting.de Tel.: +49 511 2129 0 Web: https://www.koerting.de/de/home.html	Körting Hannover GmbH Badenstedter Straße 56 30453 Hannover, Deutschland
	Kundenservice E-Mail: sales@leybold.com Tel.: +49 221 347 1112 Web: https://www.leyboldproducts.de/	Leybold GmbH Bonner Straße 498 50968 Köln, Deutschland
	Kundenservice Kontaktformular: https://www.pfeiffer-vacuum.com/de/kontakt/kontakt-vertrieb/ Tel.: +49 173 1751812 Web: https://www.pfeiffer-vacuum.com/de/	Pfeiffer Vaccum GmbH Berliner Straße 43 35614 Asslar, Deutschland

Quellenverzeichnis

- [1] K. Jousten, Handbuch Vakuumtechnik, 12th edition, Springer Vieweg (2018). <https://doi.org/10.1007/978-3-658-13386-3>.
- [2] W. Umrath, Grundlagen der Vakuumtechnik, Leybold GmbH (2016). https://www.leyboldproducts.de/media/pdf/10/0f/8b/FVT_Grundlagen_der_Vakuumtechnik_DE591eea2256c34.pdf
- [3] Pfeiffer GmbH, The Vacuum Technology Book (2013). https://www.pfeiffer-vacuum.com/filepool/file/literature/vacuum-technology-book-ii-band-2.pdf?referer=1456&request_locale=de_DE
- [4] G.U.N.T. Gerätebau GmbH, Basiswissen Verdrängerpumpen (aufgerufen im Mai 2022). https://www.gunt.de/images/download/positive-displacement-pumps_german.pdf.
- [5] Direct Industry - By Virtual Expo Group, Die richtige Wahl einer Vakuumpumpe (aufgerufen im Mai 2022). <https://guide.directindustry.com/de/die-richtige-wahl-einer-vakuumpumpe/#2>.
- [6] Atlas Copco AB, Trockenlaufende Scroll-Vakuumpumpen (aufgerufen im Mai 2022). <https://www.atlascopco.com/de-de/vacuum-solutions/products/dry-vacuum-pumps/dry-scroll-vacuum-pumps>.
- [7] Z. Li, L. Li, Z. Zhao, G. Bu, P. Shu, Theoretical and experimental study of dry scroll vacuum pump, Vacuum. 84 (2009) 415–421. <https://doi.org/10.1016/j.vacuum.2009.09.005>.
- [8] Diener electronic GmbH + Co. KG, Vakuumpumpen (2022). <https://www.plasma.com/vakuumpumpen/>.
- [9] Ehrler & Beck GmbH, Radial-Vakuumpumpen (aufgerufen im Mai 2022). <https://ehrlerebeck.com/de/technologien/vakuumpumpentechnologien/radial-vakuumpumpen>.
- [10] ZM Vakuum GmbH, Flüssigkeitsringvakuumpumpen ZM Vakuum (aufgerufen im Mai 2022). <https://www.zm-vakuum.de/vakuumpumpen/fluessigkeitsringvakuumpumpen/>.
- [11] I. Grunow, U. Salecker, P. Bartsch, T. Grohmann, Analyse der kavitierenden Strömung in einer Flüssigkeitsring-Vakuumpumpe (2013). https://www.cfx-berlin.de/fileadmin/daten/cfx_web/doc/Vortraege/ACUM2013_Grunow_Pumpe.pdf.
- [12] H. Barfuss, Richtiger Vakuumpumpen-Einsatz erspart teure Reparaturen (aufgerufen im Mai 2022). <https://www.maschinenmarkt.vogel.de/richtiger-vakuumpumpen-einsatz-erspart-teure-reparaturen-a-334777/>.
- [13] Gesellschaft für Umwelttechnologie mbH, Vakuumpumpen (aufgerufen im Mai 2022). <https://www.gutmbh.de/Vakuumpumpen.htm>.
- [14] G. Ecke, Lehrveranstaltung Vakuumtechnik (aufgerufen im Mai 2022). <https://docplayer.org/46229344-Lehrveranstaltung-vakuumtechnik.html>.

Leitfaden zum Austausch von Vakuumpumpen

- [15] Gardner Denver Industrials Group, Vakuumtrocknung: Alles hängt von der Pumpe ab (aufgerufen im Mai 2022). <https://www.gardnerdenver.com/de-de/elmoretschle/about-us/case-studies/industrial-parts-cleaning-in-vw-engine-production>.
- [16] Gardner Denver Deutschland GmbH, Regenerative Blowers and Vacuum Pumps (aufgerufen im Mai 2022). <https://www.gardnerdenver.com/en-us/elmoretschle/products/side-channel>.
- [17] Körting Hannover GmbH, Körting Strahlpumpen (aufgerufen im Mai 2022). https://www.koerting.de/files/data/content/produkte/bilder-strahlpumpen-vakuumtechnik/schnittmodel_strahlpumpe.png.
- [18] GEA Wiegand GmbH, Dampfstrahl Vakuumpumpen - Technologie und Anwendungen (aufgerufen im Mai 2022). https://www.gea.com/de/binaries/ejektor-vakuumpumpe-dampf-gea_tcm24-34892.pdf.
- [19] Leybold GmbH, Gesamtkatalog Vakuumkomponenten und Vakuumtechnik (2021). <https://de.leybold.com/epaper/de/#0>.