

Abb. 1.40 Ausführung größerer, ebener Blechwände:
 (a) Schweißfolge um Verformungen durch Schrumpfen zu minimieren,
 (b) Pilgerschritt-Verfahren zur Verringerung des Schrumpfens.

Schrumpfen Bereiche verziehen. Mittel der Wahl sind durchgehend geschweißte Stumpfstöße unter Einhaltung der geforderten Nahtausführung (Abb. 1.39c).

Bei größeren ebenen Blechplatten, die z. B. als Böden von Behältern verwendet werden, ist das Verziehen durch Schrumpfspannungen ein besonderes Problem. Verwerfungen in horizontalen Bereichen behindern vor allem das selbstdämmige Ablaufen. Grundsätzlich sollte von innen nach außen geschweißt werden, um Dehnungen nicht zu behindern. Aus dem gleichen Grund werden gemäß Abb. 1.40a zuerst Quernähte und danach Längsnähte geschweißt. Außerdem kann dadurch der Schweißspalt jeweils konstant gehalten werden. Bei langen Längsnähten sollte vor allem beim Handschweißen abschnittsweise geschweißt werden, wie es Abb. 1.40b am Beispiel des Pilgerschrittschweißens zeigt. Dabei können die einzelnen kleineren Bereiche abkühlen, bevor ein Weiterschweißen erfolgt.

1.2.2

Kunststoffe

Beim Schweißen von Kunststoffen können bei entsprechender Erfahrung mit Nahtvorbereitung, Temperatur, Zusatzwerkstoff und Schweißgeschwindigkeit hohe Nahtqualitäten garantiert werden, die allen Anforderungen an Hygiene gerecht werden. Umgekehrt können durch nicht fachgerechtes Schweißen erhebliche hygienische Problembereiche entstehen.

Je nach Ausführung der Bauteile und Art der Kunststoffe werden unterschiedliche Verfahren verwendet, von denen einige beispielhaft beschrieben werden (siehe z. B. [44, 45]).

Kunststoffe die – wie Polymere – schmelzbar sind, können im Grenzbereich zwischen plastischem Fließen und voll aufgeschmolzenem Zustand geschweißt werden. Eine einwandfreie Schweißverbindung ist jedoch im Gegensatz zu Metallen nur möglich, wenn die erwärmten Stoßstellen mit Kraft gefügt werden. Dabei werden die Makromoleküle der Randzonen ineinander verschoben, sodass sie

sich durchdringen und verfilzen. Die beim Schweißen notwendigen Arbeitsgänge umfassen im Wesentlichen das Bearbeiten, Reinigen, Erwärmen und Zusammenpressen der Fügeflächen. Das Abkühlen erfolgt anschließend meist ebenfalls unter Anpressdruck. Die Art des Verfahrens ist gleichzeitig entscheidend für die erzielbare Oberflächenqualität der Schweißstelle.

1.2.2.1 Schweißverfahren

Beim *Heizelementschweißen* werden die Werkstücke aus thermoplastischen Kunststoffen mit Heizelementen erwärmt und unter Kraft mit oder ohne Schweißzusatz gemäß Abb. 1.41 gefügt. Durch das Anpressen entsteht im Allgemeinen ein Wulst, der als hygienische Problemstelle anzusehen ist. Bei unverstärkten Kunststoffen kann dabei die Festigkeit des Grundmaterials erreicht werden.

Spezielle Anwendung ist das mechanisierte Schweißen von Rohrleitungselementen aus Polymeren, die sich für eine Vielzahl von Anlagen und Medien bis hin zu hochreinem Wasser eignen. Für Letzteres bietet sich PVDF wegen seiner hochwertigen Oberfläche sowie des zulässigen Temperaturbereichs an. Zum Beispiel wird beim *WNF-Verfahren* [46] mittels halbschaliger Heizelemente eine definierte Wärmeenergie in die zu verschweißenden Rohrenden eingebracht. Zur Vermeidung eines Wulstes stützt ein elastischer Druckkörper die Innenseite der Schweißzone ab, die nahezu spannungsfrei ist und eine Oberflächengüte von $Ra \leq 0,25 \mu\text{m}$ erreicht. Ein Vergleich von Naht mit Wulst und WNF-Naht ist in Abb. 1.42 dargestellt. Das Verfahren erlaubt, komplexe Installationen und lange Rohrleitungsabschnitte wulst- und nutfrei reproduzierbar zu verschweißen.

Bewährte andere Werkstoffe für das Heizelementschweißen sind z. B. PMMA, PP, PVC, PE, PS, ABS, POM und bestimmte PA-Sorten. Außerdem lassen sich PMMA mit ABS, PVC und PS gut verschweißen. Anwendungsgebiete sind das Schweißen von Rohrkörpern aller Art, Sensoren, Bauteile der Medizintechnik und Gehäuse von Geräten.

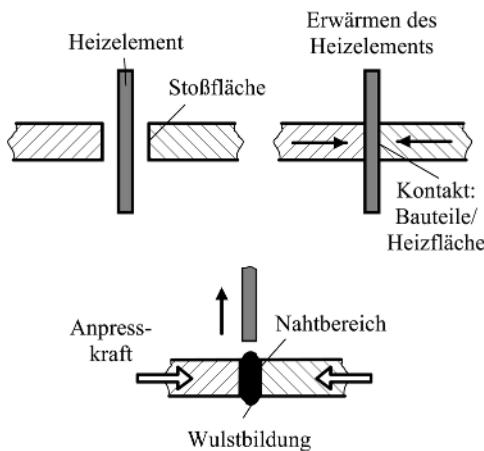


Abb. 1.41 Prinzip des Heizelementschweißens bei Kunststoffen.

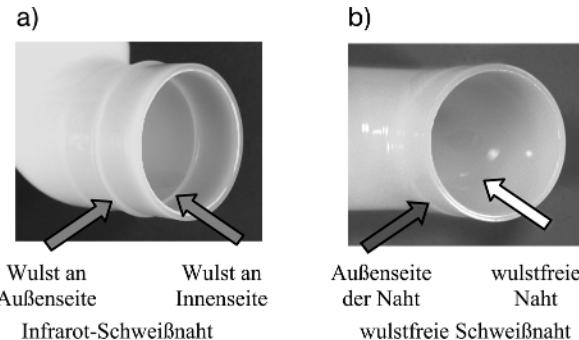


Abb. 1.42 Schweißnähte an Kunststoffrohren:
 (a) infrarotgeschweißter Rohrabschluss mit Wulst,
 (b) wulstfreie Heizelementschweißung eines Rohrs.

Beim *Warmgasschweißen* wird als Wärmequelle ein Gasstrom verwendet, der den Bauteilen über eine Düse zugeführt wird. Der erforderliche Druck wird meist durch den Schweißzusatz ausgeübt. Für Anwendungen in hygienerelevanten Bereichen sind Nahtvorbereitung, Schweißposition, Temperatur und Zusatzmaterial entscheidend. Dabei müssen die Schweißparameter über Steuerung oder Regelung von Temperatur und Gasmenge konstant gehalten werden. Typische Anwendungsbereiche sind das Schweißen von dickeren Formteilen und Rohren.

Beim *Ultraschallschweißen* von Polymeren werden die zu verbindenden Bauteile in der Fügezone durch gezieltes Umwandeln von Schallenergie in Wärme unter Druck plastifiziert. Der dabei normalerweise an der Nahtstelle entstehende Grat, der im Produktbereich eine hygienische Problemzone darstellt, kann meist durch gezielte konstruktive Maßnahmen vermieden werden.

Das *Infrarotschweißen* eignet sich gut für kleinflächige Bereiche und kann automatisiert werden. Durch geringe Tiefenwirkung und kurze Einwirkzeit der Infrarotstrahlung wird das Zersetzen des Werkstoffes vermieden.

Für das Schweißen von Rohrleitungen kann das Infrarot-Stumpfschweißen eingesetzt werden, bei dem man die erwärmten Rohrenden um einen definierten Weg (Fügeweg) zusammenfährt, wodurch sich der Anpressdruck ergibt. Dadurch lässt sich ein wesentlich kleinerer Wulst als er bei herkömmlichen Verfahren erzielen. Fast alle gebräuchlichen Thermoplaste wie PE, PP, PC und bestimmte PA-Sorten können problemlos verarbeitet werden.

Beim *Laserschweißen* von thermoplastischen Kunststoffen erfolgt die Wärmeerzeugung mit einem Laserstrahl [47]. Typisch für dieses Verfahren ist die überlappende Verbindung, wobei der obere Fügepartner für die eingesetzte Laser-Wellenlänge weitgehend transparent sein muss, während der untere sie deutlich absorbieren muss. Dies führt zum Schmelzen an der Stoßstelle. Neben der Automatisierbarkeit ist die gute Zugänglichkeit an kompliziert geformten Bauteilen ein Vorteil des Verfahrens. Es kann z. B. für Dichtschweißungen von Vorratsbehältern für Flüssigkeiten angewendet werden.

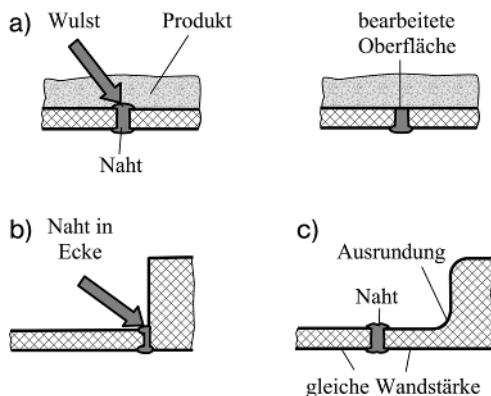


Abb. 1.43 Gestaltung von Kunststoff-Schweißverbindungen:
 (a) Stumpfstoß mit unbearbeitetem Wulst und bearbeiteter Naht,
 (b) Schweißnahtwulst in Ecke bei ungleichen Wandstärken,
 (c) Naht im Bereich gleicher Wandstärke, Ecke ausgerundet.

1.2.2.2 Hygieneanforderungen

Wie erwähnt, wird beim Schweißen von Kunststoffen durch den notwendigen Anpressdruck häufig ein überstehender Wulst erzeugt, der entsprechend Abb. 1.43a einen hygienischen Problembereich darstellt. Eine mechanische Bearbeitung zur Beseitigung des Wulstes kann zu einer aufgerauten porigen Oberfläche führen. Besonderes Augenmerk ist zusätzlich auf die Gestaltung der Bauteile im Nahtbereich zu legen, da Kunststoffbauteile stark kerbempfindlich sind, sodass an Kerbstellen Anrisse entstehen können. Die Gestaltungsmaßnahmen sind daher nicht mit denen von Metallen zu vergleichen. Vor allem müssen Schweißnähte in Ecken gemäß Abb. 1.43b vermieden und entsprechend Abb. 1.43c weit genug von Querschnittsänderungen entfernt sein, die z. B. durch Änderung der Wandstärke, durch Bohrungen oder Nuten entstehen. Besonders wichtig ist das Ausrunden von Ecken, um Kerbwirkung zu vermeiden.

1.3

Löt- und Klebeverbindungen

Löten und Kleben gehören ebenso wie das Schweißen zu den festen unlösbarren Verbindungen, die als Stoffschlussverbindungen bezeichnet werden. Sie ermöglichen ein Fügen auch nicht schweißbarer Werkstoffe, wobei ein Bindemittel zum Fügen der Bauteile benutzt wird. Aufgrund der grundlegenden Aussagen von DIN EN 1672-2 [26] und ISO 14 159 [27] ist Kleben nach dem Schweißen die bevorzugte Fügeart, während Löten nur in besonderen Ausnahmefällen angewendet werden sollte.

Bei beiden Verbindungsarten ist aus hygienischer Sicht die Eignung des Bindematerials entscheidend, das bei Anwendung im Produktbereich die An-

forderungen bezüglich Produktverträglichkeit erfüllen muss. Zusätzlich ist die hygienegerechte Gestaltung der Verbindung an der Stoßstelle wichtig.

1.3.1

Löten

Unter Löten versteht man das Verbinden erwärmter, nicht schmelzender Metallbauteile durch schmelzende Lote, d. h. metallische Zusatzwerkstoffe. An der Lötstelle müssen die zu lögenden Werkstücke während des Vorgangs mindestens die Bindetemperatur oder Benetzungstemperatur erreichen. Damit flüssige Lote benetzen und fließen können, müssen die Werkstückoberflächen metallisch rein sein. Dicke Oxidschichten werden mechanisch entfernt. Dünne Oxidschichten, die zum Teil noch während der Erwärmung auf Löttemperatur entstehen, lassen sich durch Flussmittel lösen oder durch Flussmittel bzw. Gase reduzieren.

Die Bindung ist abhängig von den Reaktionen zwischen Lot und Grundwerkstoff sowie der Verarbeitungstemperatur. Neben der reinen Oberflächenbindung im Fall fehlender Legierungsbildung zwischen Grundwerkstoff und Lot tritt in den meisten Fällen Diffusion einer oder mehrerer Komponenten des Lots in den Grundwerkstoff und umgekehrt ein.

In Bezug auf die Verwendung von Lötverbindungen sagt DIN EN ISO 14 159 [27] aus, dass sie ebenso wie Press- und Schrumpfpassungen nur verwendet werden dürfen, wenn Schweißen oder Verkleben nicht möglich ist und es zwingende technologische Gründe erfordern. Wenn nicht vermeidbar, müssen Lötverbindungen ebenso wie andere Verbindungsarten fehlerfrei und ohne Überlappungen hergestellt werden. Zum Glätten von Verbindungen und zur Herstellung von Kehlungen, um die Mindestanforderungen an Ausrundungen zu erfüllen, dürfen Silberlote verwendet werden. Die Abb. 1.44 zeigt als prinzipielles Beispiel eine Lötverbindung zwischen zwei unterschiedlichen Metallen, von denen das dünne Blech z. B. eine Membran sein kann. Da an der Verbindungsstelle im Produktbereich eine scharfe innere Kante entstehen würde, muss die Ecke mit Silberlot ausgerundet bzw. gebrochen werden.

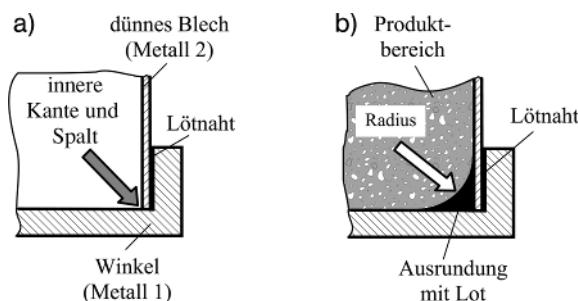


Abb. 1.44 Lötverbindung unterschiedlicher Metalle:

- (a) rechtwinklige innere Kante,
- (b) Ausrundung der inneren Kante mit Silberlot.

1.3.2

Kleben

Kleben wird zum einen bei Metallen angewendet, wenn eine unlösbare Verbindung notwendig ist, die zu fügenden Werkstoffe aber durch das Schweißen nachteilige Veränderungen ihrer mechanisch-technologischen Eigenschaften erfahren, wie z. B. bei sehr dünnen Blechen. Zum anderen dient es zum Fügen von Metallen mit Nichtmetallen, von Nichtmetallen untereinander oder von Kunststoffen. Charakteristische Eigenschaften sind der fehlende oder geringe Wärmeeintrag sowie die Aufrechterhaltung der stofflichen Struktur der zu klebenden Teile im makroskopischen Bereich [48].

Im Wesentlichen sind Adhäsion und Kohäsion für das Kleben verantwortlich. Die Bindefähigkeit gegenüber Materialien wird vorwiegend auf die Adhäsion zwischen Klebstoff und Oberfläche zurückgeführt. Eine Voraussetzung dafür ist, dass der Klebstoff die Oberfläche benetzt und sich ihr damit bis in den Nanobereich anpasst. Um dies zu gewährleisten, ist für die Benetzung eine geringe Viskosität des Klebers erforderlich. Außerdem müssen die Klebeflächen sauber und ausreichend glatt sein. Weiterhin werden zwischen der benetzten Oberfläche und dem benetzenden Klebemittel physikalische oder chemische Wechselwirkungen wirksam. Der mechanischen Haftung infolge mechanischer Verankerung wird weitaus geringere Bedeutung zugemessen. Sie spielt z. B. beim Kleben poröser Stoffe eine Rolle.

In der Schicht des Klebemittels wirkt als physikalischer Effekt Kohäsion, die die Festigkeit oder die Viskosität bewirkt. Eine Erhöhung der Kohäsion wird dadurch erreicht, dass der Klebstoff in der Klebefuge erstarrt oder aushärtet. Dies kann entweder durch eine chemische Reaktion bei Zweikomponentenklebstoffen oder durch einen physikalischen Vorgang, wie das Verdunsten des Lösungsmittels, erfolgen. Der Klebstoff sollte eine möglichst geringe Neigung zum Schrumpfen besitzen. In der Kleberschicht müssen Gas- oder Lufteinschlüsse vermieden werden.

Bei metallischen Werkstoffen eignen sich für Klebverbindungen besonders gut Leichtmetalle auf Aluminium- und Magnesiumbasis und Stahl, weniger gut dagegen Buntmetalle. Spezielle Anforderungen in Zusammenhang mit Klebeverbindungen bei Edelstahl werden in [49] diskutiert. Beim Verkleben von Kunststoffen spielt die Polarität eine besondere Rolle. So können z. B. im Allgemeinen nur polare Kunststoffe miteinander verklebt werden, während die Verbindung von Kunststoffen mit unterschiedlicher Polarität schwierig ist. Die Polarität des Klebemittels lässt sich häufig durch Weichmacher, Harze oder Säuren verändern.

Die hygienischen Anforderungen besagen nach DIN EN ISO 14 159 [27] zunächst, dass Klebstoffe und die daraus hergestellten Verbindungen mit den Oberflächen, Produkten und den Reinigungs- und Desinfektionsmitteln verträglich sein müssen, mit denen sie in Kontakt kommen. Ausführungen über die zulässige Zusammensetzung von Klebstoffen sowie die Anwendung im Lebensmittelbereich finden sich außerdem in [50]. Alle Verbindungen müssen

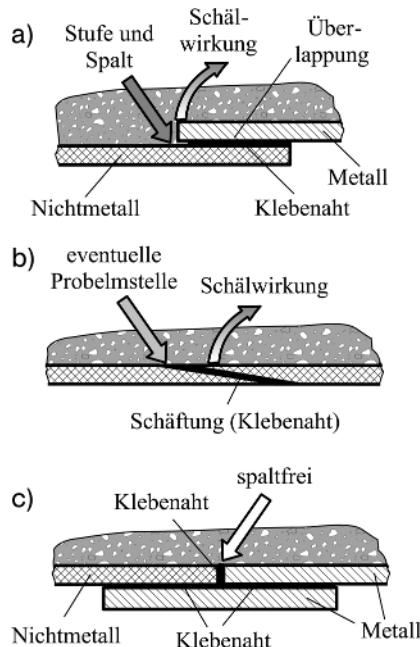


Abb. 1.45 Klebeverbindungen:
 (a) unzulässige Überlappung im Produktbereich, (b) Schäfung, (c) außenliegende Überlappung mit spaltfreier Klebung des Stumpfstoßes im Produktbereich.

durchgehend und vollständig verklebt sein, sodass sich die Klebstoffe nicht von den Werkstoffen ablösen können. Außerdem müssen die zu verklebenden Oberflächen bündig sein. Da Klebeverbindungen aus Gründen der Festigkeit hauptsächlich in tangentialer Richtung belastet werden sollten, ergibt sich dadurch eine Beeinflussung der konstruktiven Gestaltung. Die Abb. 1.45a zeigt zunächst eine unter Gesichtspunkten von Hygienic Design nicht zulässige überlappende Klebeverbindung, da neben der Stufe im Produktbereich die nicht bündig endende Naht als Risiko zu beachten ist. In Abb. 1.45b sind die zu verbindenden Elemente geschäftet. Diese Art der Verbindung wird dann angewendet, wenn z. B. wie bei Transportbändern beiderseits der Verbindung keine Stufe entstehen darf. Als Problemstelle ist das Nahtende im Produktbereich zu betrachten, da hier durch Beschädigungen oder Beanspruchungen ein Ablösen der geklebten Teile erfolgen kann. Vor allem sogenannte Schälbeanspruchungen unterstützen diesen Vorgang. Eine hygienegerecht ausgeführte Klebeverbindung ist in Abb. 1.45c dargestellt. Im Produktbereich stoßen die verklebten Enden der Bauteile stumpf aneinander und ergeben eine bündige Verbindung. Zu beachten ist dabei, dass der Klebstoff am Stumpfstoß die Fuge völlig bis zur Blechoberfläche füllt. Die eigentliche Klebestelle, die der Kraftübertragung dient, wird zwischen den Bauelementen und dem überlappenden Blech außerhalb des Produktbereichs gefügt.

1.4

Gestaltung von Dichtungen

Produktberührte Dichtungen sind häufig die hygienisch sensibelsten Elemente im Hinblick auf reinigungsgerechte Gestaltung. Die Rekontamination von Produktchargen durch nicht hygienegerechte Dichtstellen ist in der Praxis oft latent vorhanden, selbst wenn eine Validierung der Reinigung vorgenommen wurde oder wenn auf eine In-place-Reinigung ein Sterilisationsprozess folgt. Die Risiken werden häufig mit zunehmender Betriebszeit größer und können sich in hohen Kosten, z. B. durch Rückrufaktionen von kontaminierten Produkten, niederschlagen. Ausführlichere Grundlagen über die Gestaltung von hygienegerechten Dichtungen finden sich in [1].

Dichtungen haben die Aufgabe, Bereiche mit ungleichen Bedingungen voneinander dicht abzutrennen. Diese können z. B. durch unterschiedliche Drücke (Überdruck, Vakuum), chemische Medien (Laugen, Säuren, Produkte), Zustandsformen von Materialien (Feststoffe, Flüssigkeiten, Gase), Prozesszustände (Produktion, Reinigung/Sterilisation), Hygienezustände (rein, unrein oder verkeimt, keimarm, keimfrei) oder Luftzustände (feucht, trocken) vorgegeben sein. Dabei sollen Stoffverluste oder Vermischung von Medien vermieden, Kontamination (z. B. aus der Umgebung) und Rekontamination (z. B. unterschiedlicher Chargen) von Produkten durch Mikroorganismen verhindert oder die Umwelt vor dem Austritt toxischer Medien geschützt werden.

Im allgemeinen Maschinenbau bewährte und sichere Lösungen für Dichtungen können in Hygienebereichen nicht akzeptiert werden, wenn sie besondere hygienische Problemstellen enthalten, die von der Art des Werkstoffs, der porösen Oberflächenstruktur oder der Geometrie der Dichtstelle verursacht werden. An hygienegerecht gestaltete Dichtstellen werden spezielle Anforderungen dadurch gestellt, dass z. B. Mikroorganismen zusammen mit Produktresten in nicht visuell feststellbare Dichtspalte und Fehlstellen von Dichtungen eindringen, sich dort vermehren und anschließend neue Produktchargen kontaminieren können. An solchen Problemstellen entfalten Reinigung und Sterilisation oft nicht ausreichend zuverlässig ihre Wirkung. So kann z. B. durch die Pressung zwischen Dichtung und Dichtfläche durch die Verdrängung von Wasser ein Milieu mit reduzierter Feuchte entstehen, in dem Mikroorganismen die üblichen temperaturbedingten Sterilisationsverhältnisse überleben. Viele Kontaminationen in der Praxis werden auf nicht erfolgreiche Reinigung von Spalten und Toträumen von Dichtstellen und in Rissen von verschlossenen Dichtungen oder das Nickerreichen von Desinfektionstemperaturen an „kalten“ Stellen zurückgeführt [51].

1.4.1

Statische Dichtungen

Bei statischen Dichtungen führen die abzudichtenden Bauelemente keine Relativbewegung zueinander aus. Dazu gehören zum einen Dichtstellen mit nach Montage relativ zueinander feststehenden Bauteilen, wie z. B. lösbare Flansch-,

Schraub- oder Klemmverbindungen von Rohrleitungen oder Behältern. Meist werden aber auch Dichtstellen dazu gezählt, bei denen die Bauelemente bis zum Dichtzustand aufeinander zu bewegt werden, wie es z. B. bei Tellerdichtungen von Ventilen oder Abdichtungen von schwenkbaren Behälter-Mannlöchern der Fall ist.

Bei *berührenden* Dichtstellen können die Bauteile entweder unmittelbar oder mittelbar über ein zusätzliches Dichtelement abgedichtet werden, das als Zwischenglied fungiert. Die zur Abdichtung notwendige Vorspannung der Dichtelemente erfolgt bei Montage oder nach Betätigung durch äußere Kräfte, die im Wesentlichen vom Verformungswiderstand der Werkstoffe und von den Abmessungen sowie der Gestaltung der Dichtfläche abhängen. Der Einsatz von weichen, elastischen Dichtelementen wird dann gewählt, wenn die Vorspannkräfte nicht zu hoch werden dürfen. Zusätzlich zu diesen werden die Dichtflächen im Betriebszustand z. B. durch Über- oder Unterdruck und Temperaturen der vorhandenen Medien be- oder entlastet. Die im Folgenden verwendeten Darstellungen sind in den meisten Fällen keine Konstruktionszeichnungen, sondern sollen als Skizzen lediglich das Wirkprinzip verdeutlichen.

Theoretisch sind absolut glatte und ebene Dichtflächen nicht poröser Werkstoffe in unmittelbarem Kontakt absolut dicht. Praktisch sind solche Verhältnisse jedoch nicht erreichbar, da Dichtflächen sowohl eine Mikrostruktur in Form ihrer Oberflächenrauheit gemäß Abb. 1.46 als auch eine Makrostruktur durch sichtbare Unebenheiten und Formfehler besitzen (s. auch [1]). Beide Größen sind abhängig vom verwendeten Dichtwerkstoff sowie der Qualität (z. B. Struktur, Bearbeitungszustand) seiner Oberfläche. Bei zunehmender Annäherung zweier Dichtflächen steigt die Dichtwirkung an. Dabei erfolgt ein Angleichen der Oberflächen durch elastische oder plastische Verformung ihrer Mikro- und Makrostrukturen. Gleichzeitig nimmt der als räumliches Spaltsystem ausgebildete Dichtspalt ab. Aufgrund von molekularen Kohäsions- und Kapillarkräften im Dichtspalt sowie der Oberflächenspannung ist eine „leckagefreie“ Abdichtung z. B. bei Flüssigkeiten trotz eines mikroskopischen Spaltes möglich. Für das Abdichten gegenüber Gasen, müssen die Dichtflächen entsprechend stark vorgespannt werden. Bei feuchten Gasen kann Kondensation im Dichtspalt auftreten, sodass ähnliche Verhältnisse wie bei Flüssigkeiten auftreten. Bei trockenen Gasen wird im Allgemeinen versucht,

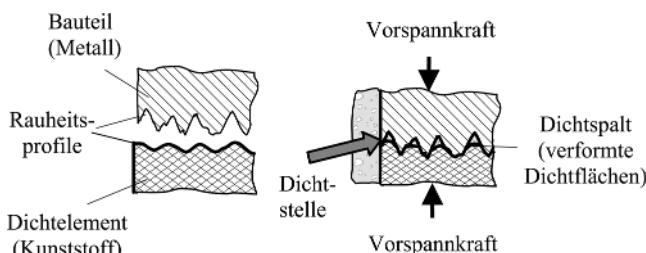


Abb. 1.46 Einfluss auf den Dichtspalt:
(a) Rauheitsprofile vor Abdichtung, (b) nach Montage.

eine geschlossene Dichtlinie bzw. einen durchgehenden Dichtbereich senkrecht zur Abdichtungsrichtung zu erzielen, der wesentlich von der Struktur (z. B. Bearbeitungsrollen der Dichtflächen) abhängt. Außerdem ist zu berücksichtigen, dass manche Polymere und Elastomere selbst eine gewisse Gasdurchlässigkeit aufweisen. Die Vorspannung muss in diesen Fällen so hoch gewählt werden, dass ein Schließen der Mikroporen erreicht wird. Die Gasdurchlässigkeit von Dichtstellen wird üblicherweise mit dem Heliumtest überprüft.

Eine Reinigung mikroskopisch enger Spalte nicht hygienegerecht gestalteter Dichtstellen ist ohne Zerlegen, d. h. Entfernen der Dichtung von den Dichtflächen, nicht möglich. Außerdem kann bei flächenartigen Dichtflächen mit konstanter Anpressung, wie z. B. bei Flachdichtungen, die Mikrostruktur des Dichtspalts aufgrund der Rauigkeiten und geometrischen Formfehler nicht genau definiert werden. Das bedeutet, dass in solchen Fällen zwar ausreichend abdichtende Dichtstellen erzeugt werden, örtlich aber trotzdem Mikroorganismen unterschiedlich weit eindringen können. Hygiedichtungen sollten daher so gestaltet werden, dass die höchste Anpressung und damit die stärkste Verformung der Dichtung möglichst in einer definierten Zone unmittelbar am mediumberührten Rand der Dichtfläche entsteht. Die Wirksamkeit dieser Maßnahme kann mithilfe besonders kleiner und mobiler Bakterien überprüft werden, die auch zum Testen der Bakteriendichtheit [52] von Abdichtungen verwendet werden.

Zusammengefasst lassen sich folgende Anforderungen an die hygienegerechte Gestaltung von statischen Dichtungen definieren:

- Die Dichtstelle muss unmittelbar und möglichst bündig an der produktberührten Oberfläche liegen.
- Die Dichtstelle sollte „spaltfrei“ sein (Berücksichtigung makroskopischer und mikroskopischer Einflüsse).
- Es ist eine definierte Pressung der Dichtstelle bzw. des Dichtelements erforderlich (z. B. durch Anschlag der zu dichtenden Bauteile).
- Die größte Pressung des Dichtelements muss unmittelbar an der produktberührten Oberfläche liegen, um das Eindringen von Mikroorganismen in Spalte zu vermeiden.
- Die abzudichtenden Bauteile und die Dichtelemente müssen an der produktberührten Oberfläche fluchten (Zentrierung oder Versatz).
- Für die Dichtelemente muss eine Dehnungs- bzw. Kontraktionsmöglichkeit zur Kompensation bei Temperaturänderung ohne Bildung eines Wulstes oder einer Vertiefung gegenüber dem Produktraum gegeben sein (Elastomere sind volumenkonstant).
- Das Einziehen von Dichtelementen in den Produktraum bei Vakuum ist zu verhindern.
- Die Dichtelemente sollten unverlierbar sein (Fixierung in einem der abzudichtenden Bauteile).

Allgemeine Anforderungen bezüglich richtiger Werkstoffwahl und rechtlicher Voraussetzungen müssen zusätzlich in folgender Hinsicht erfüllt werden:

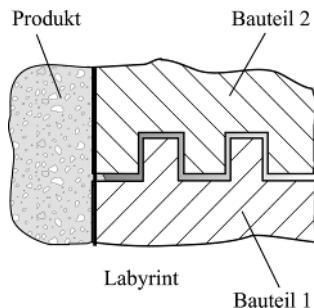


Abb. 1.47 Prinzipdarstellung einer berührungslosen Dichtung.

- Die physikalischen Anforderungen an die Dichtstellen und Dichtelemente wie z. B. Festigkeit, Dehnung oder Temperatur müssen berücksichtigt werden.
- Chemische Beständigkeit gegen Produkt, Reinigungs- und Desinfektionsmittel ist erforderlich.
- Physiologische Unbedenklichkeit ist nachzuweisen (Erfüllung rechtlicher Vorgaben bezüglich Produktverträglichkeit z. B. nach LFBG [53–56] in der Nahrungsmittelindustrie bzw. allgemein nach FDA (CFR [57]).
- Die funktionellen Anforderungen müssen erfüllbar sein.

Bei *berührungslosen* Dichtungen werden die Dichtflächen einander nur so weit angenähert, dass es zu keiner Berührung kommt. Der in diesem Fall auftretende, möglichst geringe Spalt sowie die damit verbundene Undichtheit werden dabei in Kauf genommen. Der Spalt wird deshalb so gestaltet, dass ein möglichst hoher Durchflusswiderstand entsteht, wie Abb. 1.47 am Beispiel einer Labyrinth-Abdichtung zeigt. Auf der Produktseite sind berührungslose Dichtungen für hygienegerechte Abdichtungen nicht einsetzbar, da im montierten Zustand keine Reinigungsmöglichkeit besteht.

Die überwiegende Mehrheit von Dichtungen wird für rotationssymmetrische Anwendungen eingesetzt, wo bereits bewährte hygienegerechte Lösungen zur Verfügung stehen. Im Bereich linearer Dichtungen fehlen entsprechende Konstruktionen noch weitgehend, wenn aus technischen Gründen die Erfahrung mit Runddichtungen nicht übernommen werden kann.

1.4.1.1 Metallische Dichtungen

Im Maschinenbau sind berührende metallische Dichtungen durchaus üblich. Sie nutzen die elastische Materialverformung unter mechanischer Vorspannung zur Dichtwirkung aus. Bei Anwendung im Hygienebereich sind sie notwendig, wenn aufgrund des Produkts Elastomerdichtungen nicht einsetzbar sind. Nach Stand der Technik wird in solchen Fällen die Dichtung direkt durch den Werkstoff Edelstahl gebildet. Eine konstruktiven Lösung für rotationssymmetrische Bauteile verwendet z. B. eine konische Dichtfläche in Form eines Kegelsitzes gemäß Abb. 1.48. Der innere Konus besitzt eine geringfügig steilere Neigung als der äußere. Bei axialem Vorspannen wird die Berührfläche (Dichtfläche) unmittelbar auf der Produktseite in einem geringen Bereich teilplastisch verformt, wobei die stärkste Verformung am Umfang des kleinsten Durchmessers vorliegt.

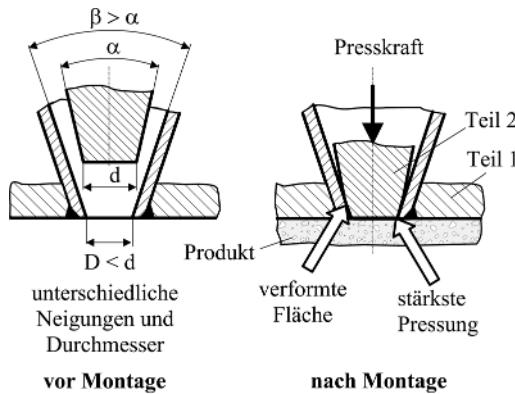


Abb. 1.48 Prinzip einer metallischen Dichtung mit unterschiedlich geneigten Dichtflächen (höchste Pressung unmittelbar an Produktseite).

Eine andere für Rohrverbindungen eingesetzte Konstruktion [58] verwendet gemäß Abb. 1.49 eine frontbündige definiert vorgespannte, etwa sinusförmige Dichtkontur, deren Reinigbarkeit von der EHEDG zertifiziert wurde (s. auch Abschnitt 2.2). Aufgrund der zentrischen Führung sowie des metallischen Anschlags werden die Hygieneanforderung an die Dichtstelle erfüllt.

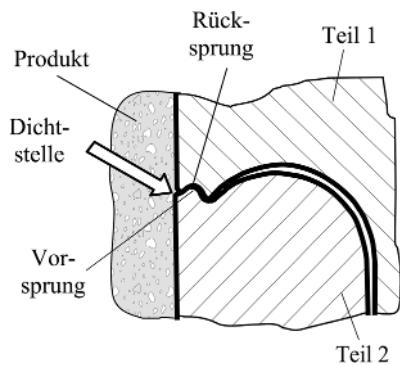


Abb. 1.49 Gestaltung der metallischen Dichtstelle für eine Flanschverbindung [58].

1.4.1.2 Elastomerdichtungen

In den weitaus überwiegenden Fällen werden als berührende Dichtelemente Elastomer- oder Thermoplastdichtungen verwendet. Neben ihrer hohen elastischen Verformbarkeit ist die Oberflächenstruktur hygienisch maßgebend, die durch die Bearbeitungsgüte der Form sowie die beim Extrudieren entstehende dichte Oberflächenhaut festgelegt wird. Bei bearbeiteten Polymeren sind die Bearbeitungsqualität sowie die Dichtheit des Werkstoffs entscheidend. Der Dichtspalt zwischen dem Dichtelement und den Metall- oder Kunststoffgegenflächen wird bereits bei relativ geringer Anpresskraft durch elastische Verformung soweit vermindert, dass Dichtheit erreicht wird.

Nach [59] kann davon ausgegangen werden, dass man z. B. bei einer Elastomer-Flachdichtung mit einer Härte von 70 Shore A eine Zusammenpressung von

$$\alpha = 0,15 \cdot t$$

d. h. etwa 15 % der ursprünglichen Dicke t benötigt, um Dichtheit gegen Bakterien zu erreichen. Bei freier Ausdehnung ist mit der Kompression gleichzeitig eine Querdehnung verbunden, die sich mit der Poisson'schen Konstanten ν gemäß

$$q = \nu \cdot \alpha$$

bestimmen lässt. Für eine praktisch volumenbeständige Elastomerdichtung ist $\nu = 0,5$, sodass sich für das vorliegende Beispiel eine Ausdehnung der Dichtung von 7,5 % der ursprünglichen Dicke ergibt. Abb. 1.50a soll diese Verhältnisse für eine quaderförmige Flachdichtung verdeutlichen, die sich in einer Richtung bei Vernachlässigung der Reibung an der Dichtungsoberfläche ergeben würde. Würde man die Dichtung gemäß Abb. 1.50b allseitig pressen, so wäre keine Verformung möglich. Die Dichtung würde sich wie ein starrer Körper verhalten.

Aufgrund ihrer einfachen Form wird die *Rundringdichtung* (O-Ring) entsprechend ISO 3601 [60] bzw. DIN 3771 [61] in der Praxis bevorzugt eingesetzt. Die im Maschinenbau herkömmliche Form der Dichtstelle mit rechteckförmiger Nut nach Abb. 1.50c lässt zwar Raum für die freie Verformung des Dichtrings, erfüllt aber nicht die Voraussetzungen eines hygienischen und reinigungstechnischen Einsatzes, wenn keine Zerlegung erfolgt. Aufgrund der Nutform kann die Dichtung nicht direkt an der abzudichtenden Produktseite liegen. Es entsteht

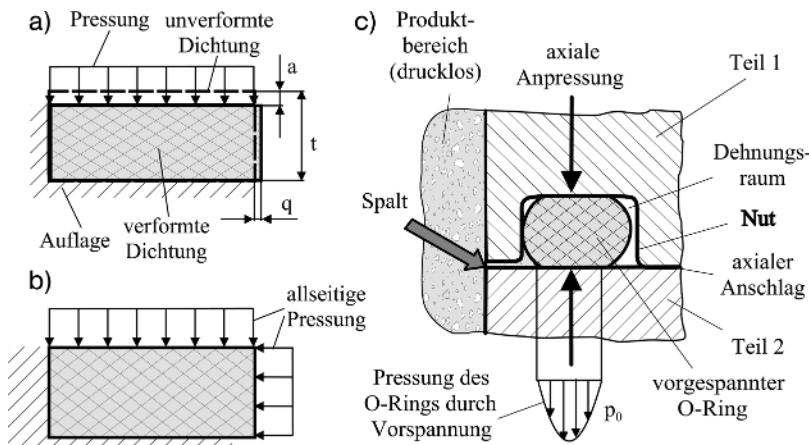


Abb. 1.50 Prinzipien bei Elastomeredichtungen:
 (a) Flachdichtung bei freier Dehnungsmöglichkeit,
 (b) allseitig gepresste Flachdichtung (Volumenkonstanz),
 (c) O-Ringdichtung mit Rechtecknut.

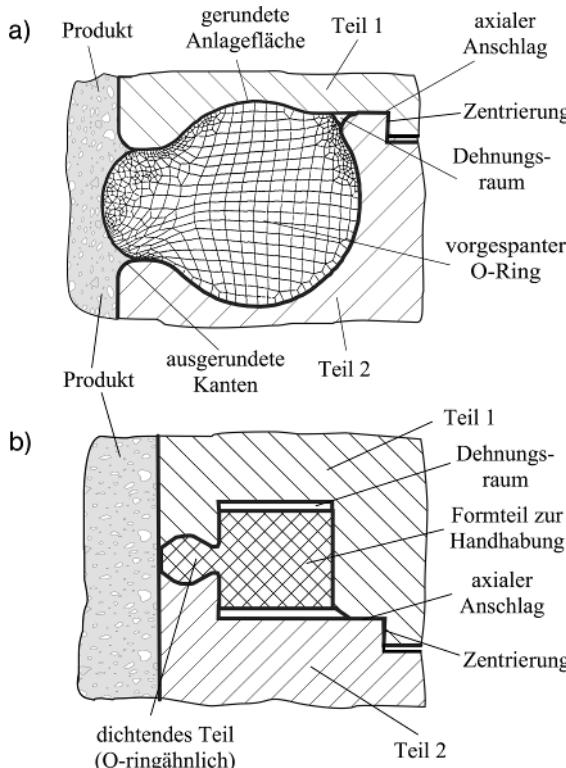


Abb. 1.51 Optimierte hygienegerechte O-Ring-Abdichtung mit axialem Anschlag und Zentrierung nach DIN 11 864 [62]:
 (a) O-Ringnut nach Form A (FE-Darstellung nach [59]),
 (b) Formdichtung nach Form B.

eine metallische Kontaktfläche mit einem engen mikro- oder makroskopischen Spalt. Untersuchungen zeigen, dass solche Dichtstellen stets eine Kontaminationsgefahr bedeuten.

Um eine optimierte hygienegerechte O-Ringdichtung zu verwirklichen, wurde in Zusammenarbeit zwischen EHEDG [59] und DIN eine Lösung mit Hilfe finiter Elemente gemäß Abb. 1.51a erarbeitet und getestet, die zu DIN 11 864 [62] für Schraub-, Flansch- und Klemmverbindungen geführt hat. Die der Rundung angepasste Nut umfasst den O-Ring weitgehend. In der Praxis zeigt sich, dass zur hygienegerechten Funktion der Dichtung eine Auswahl der O-Ring-Abmaße sinnvoll ist.

Eine zweite hygienegerechte Dichtung stellt Form B nach DIN 11 864 entsprechend der Prinzipdarstellung nach Abb. 1.51b dar. Sie besteht im produktberührten Bereich aus einem O-ringähnlichen Teil mit kleinem Querschnitt, um eine kleine Oberfläche zum Produkt hin zu erreichen und das Expansions- und Kontraktionsverhalten bei Temperaturänderungen zu vermindern. Zur leichteren Handhabung ist an den O-ringförmigen ein größerer rechteckiger Querschnitt

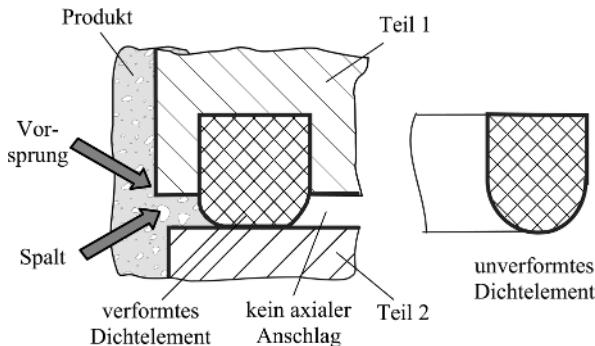


Abb. 1.52 Elastomer-Formdichtungen der Milchrohrverschraubung nach DIN 11 851 [63] mit Spalt an Dichtstelle (ohne Zentrierung und axialem Anschlag).

angeschlossen. Für diesen ist in der Nut seitlich ein Dehnungsraum vorgesehen, der eine Expansion zulässt. Entscheidend ist, dass in jedem Fall ein ausreichend großer, richtig angeordneter Dehnungsraum verhindert, dass die gesamte Verformung zum Produktraum hin erfolgt.

Eines der am weitesten verbreiteten Dichtelemente ist der Profilring der Verschraubung nach DIN 11 851 [63] gemäß Abb. 1.52. Das Dichtelement ist gegenüber dem Produktraum zurückversetzt und aufgrund eines fehlenden Anschlags nicht definiert gepresst, sodass ein mehr oder minder weiter Spalt entsteht. Außerdem fehlt eine Zentrierung, sodass die zu dichtenden Bauteile nicht fluchtend, d. h. mit einer Stufe, montiert werden können. Außerdem wird durch die mögliche Bewegung der zu verbindenden Elemente der Dichtring durch Scherbeanspruchung relativ rasch beschädigt. Die Dichtung wird wegen ihrer Einstellbarkeit und Beweglichkeit, die zulasten der hygienegerechten Gestaltung geht, vor allem in der Lebensmittelindustrie häufig verwendet. Bei Einsatz in Hygienebereichen muss die Dichtstelle bei der Reinigung zerlegt werden, wenn Kontaminationen vermieden werden sollen.

Um CIP-Verfahren anwenden zu können, wurden Verbesserungen in Form von Kombinationsringen aus einem Elastomer und Edelstahlteil (s. Abschnitt 2.2) entwickelt, die bei Beibehaltung der Nut die Problemstellen beseitigen, indem das Dichtelement den Spalt zur Produktseite hin ausfüllt und das Edelstahlteil für axialen Anschlag sowie Zentrierung sorgt.

Für Klemmverbindungen nach ISO 2852 (Zollmaße) [64] und DIN 32 676 (Millimetermaße) [65] ist die Formdichtung gemäß Abb. 1.53a so gestaltet, dass sie zum Produkt hin als Flachdichtung ausgeführt ist und über das O-ringförmige Mittelteil sowie den außenliegenden Ring die beiden zu dichtenden Teile zentriert soll. Die Dichtung ist nicht definiert gepresst und die Zentrierung durch die weiche Dichtung zumindest fraglich. Eigene Versuche sowie Hygienetests zeigten, dass bei höheren Belastungen (z. B. Biegebeanspruchung) einseitige Spalte an der Dichtstelle entstehen, die zu Kontaminationen führen können. Eine definierte Pressung und Zentrierung ist z. B. durch die Kombinations-

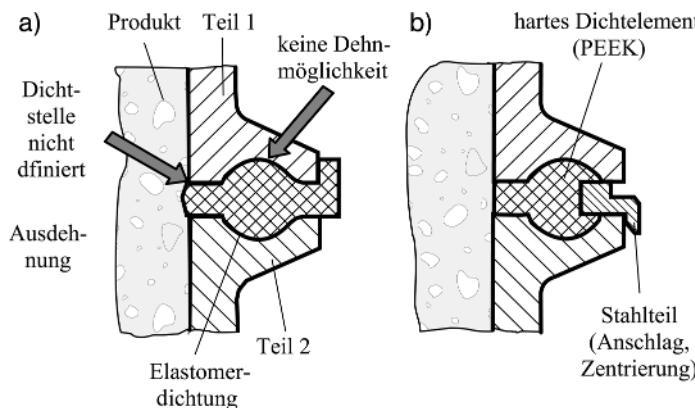


Abb. 1.53 Elastomerdichtung für Klemmverbindung:
 (a) übliche Elastomer-Formdichtung (Zentrierung durch Dichtelement, keine definierte Pressung) nach DIN 32 676 [65],
 (b) Kombinationsdichtung mit Edelstahlring (Zentrierung und definierte Pressung der Dichtung) [66].

dichtung nach Abb. 1.53b möglich, die aus einem Dichtelement aus Kunststoff (PEEK) und einem Edelstahlring besteht [66]. Der Dichtring wurde mittlerweile weiterentwickelt.

Flachdichtungen werden aus Tradition wegen der einfachen Fertigung der Dichtflächen (z. B. Drehen, Schmieden) sowie der günstigen geometrischen Form der Dichtelemente für Flansche von Apparaten, Behältern und Rohrleitungen verwendet. Das Dichtelement muss unmittelbar an der produktberührten Oberfläche montiert sein. Bei großen Abmessungen runder Bauteile (Behälterdeckeldichtungen) werden Flachdichtungen meist aus Bandmaterial mit Rechteckquerschnitt ausgeschnitten und der kreisförmigen Dichtstelle ohne Nut mehr oder minder gut angepasst (Abb. 1.54a). Nur durch Zentrierung oder Versatz können Vor- bzw. Rücksprünge der abzudichtenden Bauteile vermieden werden. Aufgrund von Formfehlern und Rauheitsunterschieden ist die Dichtstelle bei parallelen Dichtflächen jedoch nicht ausreichend definiert, wodurch Mikroorganismen wie z. B. Sporen vom Produktbereich her in die Dichtstelle eindringen, die beim Erhitzen Wasser aufnehmen [51].

Durch z. B. eine einseitige Abschrägung der Dichtungsnut gemäß Abb. 1.54b kann erreicht werden, dass aufgrund der Verformung die stärkste Pressung und damit die Dichtstelle unmittelbar an der Produktseite liegt [2]. Außerdem muss ein Dehnungsraum vorgesehen werden, damit sich die Dichtung nicht völlig zum Produktraum hin ausdehnt. Durch die resultierende Radialkraft aufgrund der Abschrägung wird die Expansion in einen im Rückraum liegenden Dehnungsraum unterstützt.

Werte für die Abmessungen solcher Dichtelemente sind in [1] zusammengestellt. Um Probleme im Betrieb auszuschalten, muss das Dichtelement im Verhältnis zu seiner Nut mit Dehnungsraum richtig dimensioniert werden.

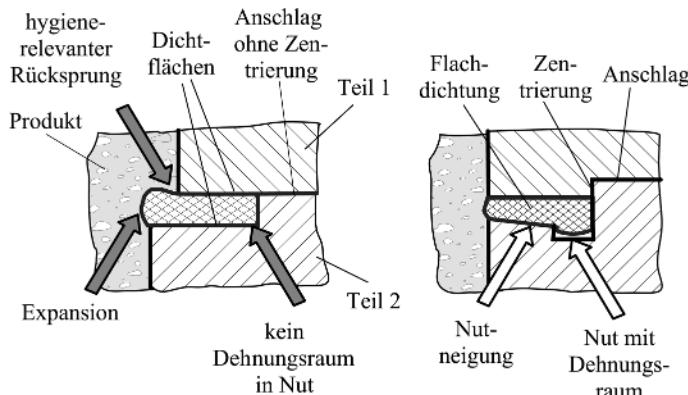


Abb. 1.54 Gestaltung von Flachdichtungen: (a) Dichtstelle mit parallelen Dichtflächen mit Anschlag, ohne Zentrierung (Hygienerisiko durch Vorsprung), (b) Prinzip einer hygienegerechten Dichtstelle mit axialem Anschlag und Zentrierung: Nut auf einer Seite geneigt, Expansionsraum für Dichtung.

Membranen z. B. von Membranventilen oder -pumpen werden häufig an den Rändern im Hauptschluss eingespannt. Entsprechend Abb. 1.55a entstehen an der Einspannstelle unmittelbar am Produktraum dieselben Probleme wie bei Flachdichtungen mit Rechteckquerschnitt, d. h. mit parallelen Flächen. Hinzu kommt, dass die Membran eine Bewegung durchführt, wodurch an der Einspannstelle vor allem durch Dehnung und Durchbiegung der Membran ein Spalt entstehen kann. Um eine definierte Anpressung der Membran unmittelbar am Produktbereich zu erzielen, wird bei manchen Konstruktionen entweder an der Membran (Einzelheit Z₁) oder am Gehäuserand (Einzelheit Z₂) eine wulstartige Verdickung vorgenommen.

Druckluftbeaufschlagte Dichtungen in Form schlauchförmiger Dichtelemente können entsprechend Abb. 1.56 mit innerem Überdruck beaufschlagt und damit zum Abdichten gegenüber einer Dichtfläche gebracht werden. Die Dichtelemente

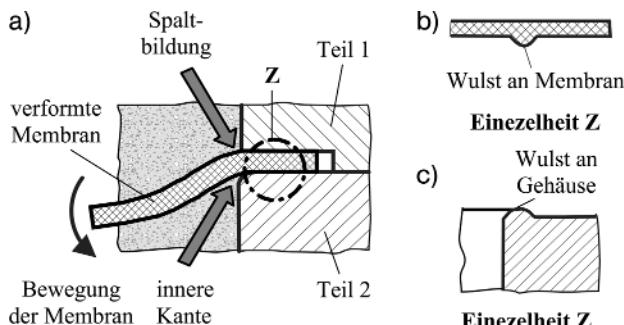


Abb. 1.55 Dichtstelle von Membranen:

(a) Prinzip mit Problemstellen, (b) Wulst an Membran zur definierten Dichtwirkung, (c) Wulst am Gehäuse zur Reduzierung der Spaltbildung.

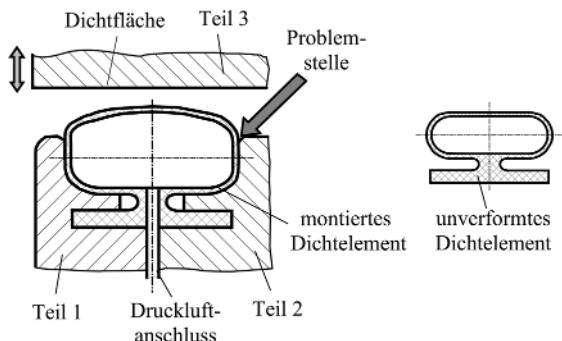


Abb. 1.56 Prinzipbeispiel einer Dichtung mit Druckbeaufschlagung.

werden als Hoch- oder Niederdruckprofile in sehr unterschiedlichen Formen hergestellt und lassen sich der abzudichtenden Fläche beliebig anpassen. Sie werden z. B. zum Abdichten von Ventilen für Trockenprodukte, Kühlkammern, Trockenschränken und Reinraumschleusen verwendet. Einwandfreie Reinigung ist nur bei zugänglicher Dichtfläche möglich.

1.4.2

Dynamische Dichtungen

Dynamische Dichtungen dichten relativ zueinander bewegte Bauteile gegeneinander ab. Eine wichtige Voraussetzung für die Funktionsfähigkeit einer hygienegerechten Dichtung ist, dass eine einwandfreie Lagerung mit geringen Toleranzen für die bewegten Elemente vorliegt. Neben den bei statischen Dichtstellen aufgezeigten Hygienerisiken besteht das Hauptproblem im Eindringen von Schmutz und Mikroorganismen in den Dichtspalt sowie deren aktiven Transport durch die Dichtstelle hindurch. Generell unterscheidet man zwischen Abdichtungen für geradlinig hin- und hergehende sowie drehende Relativbewegungen, für die es unterschiedliche Wirkprinzipien und Dichtelemente gibt.

1.4.2.1 Dichtungen für Längsbewegungen

Bei relativer Längsbewegung zweier gegeneinander abgedichteter Bauteile (z. B. Ventilstange – Gehäuse) wird an dem bewegten Teil anhaftendes flüssiges Medium (Produkt, Schmutz), das einen Schmierfilm bildet, an der Dichtstelle vorbei transportiert. Ursache ist das Anhaften eines dünnen Films aufgrund der Rauheiten, der zunächst zu sogenannten Mischreibung führt. Darüber hinaus kann je nach Form des Dichtelements und Geschwindigkeit der Bewegung ein Schmierkeil mit hohem Druck entstehen, der einen deutlichen Spalt zwischen Dichtfläche und Dichtelement erzeugt. Auf diese Weise findet bei relativer Bewegung ein Transport eventuell kleinster Mengen durch die Dichtstelle statt, während sie im Ruhezustand völlig dicht ist. Aus hygienischer Sicht kann auf diese Weise trotz üblicher Dichtheit die Kontamination eines reinen Bereichs durch einen unreinen erfolgen.

Abdichtung mit elastischen Dichtelementen

Die Abb. 1.57a verdeutlicht die Transportverhältnisse durch den Dichtspalt in prinzipieller Form am Beispiel der hygienisch nicht akzeptablen O-Ringdichtung. Die Dicke des Spalts zwischen Dichtung und bewegtem Element hängt im Wesentlichen von den Rauigkeitsverhältnissen an der Dichtfläche, der Zähigkeit der anhaftenden Schicht sowie der Anpressung (Vorspannung) des Dichtelements ab. Neben der Kontaminationsgefahr durch den Transport können ange trocknete Filme oder auskristallisierte Bestandteile die Dichtung beschädigen. Beim Rücktransport wird gemäß Abb. 1.57b der kontaminierte Film in den Produktraum zurücktransportiert, wenn nicht besondere Maßnahmen getroffen werden.

Eine Minimierung des transportierten Films lässt sich z. B. durch Dichtelemente mit Dichtlippe durch „Abstreifwirkung“ gemäß Abb. 1.58a erreichen, die außerdem bündig zur Produktseite gestaltet werden können. Ein Werkstoff mit gutem Gleitverhalten wie PTFE kann diese Wirkung unterstützen. Die Lippe wird außerdem durch den produktseitigen Druck zusätzlich angepresst. In diesem Fall muss wegen des Fließverhaltens von PTFE ein elastisches Element z. B. in Form eines Elastomers entsprechend der Kombinationsdichtung nach Abb. 1.58b durch elastische Vorspannung das Dichtelement anpressen und nachstellen. Um Verschleiß zu vermindern, kann die Dichtung auf der Produktseite „druckkompensiert“ ausgeführt werden.

Hygienegerechte Verbesserungen sind in verschiedenen Stufen möglich. So zeigt Abb. 1.59a zunächst eine doppelt wirkende Lippendichtung. Gemäß Abb. 1.59b kann zwischen den Dichtungen ein Spülraum angeordnet werden,

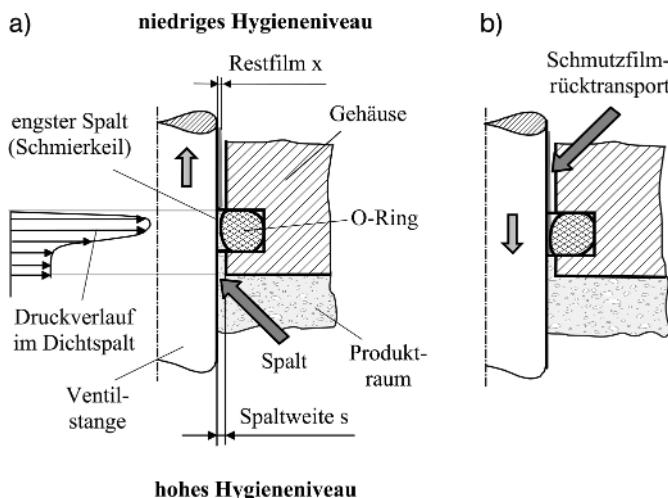


Abb. 1.57 Prinzipielle Darstellung des Hygienerisikos bei dynamischen Dichtungen für hin- und hergehende Bewegungen am Beispiel des O-Rings:
 (a) Spalte und Filmtransport bei Bewegung aus dem Produktraum,
 (b) Schmutzrücktransport bei Rückbewegung.

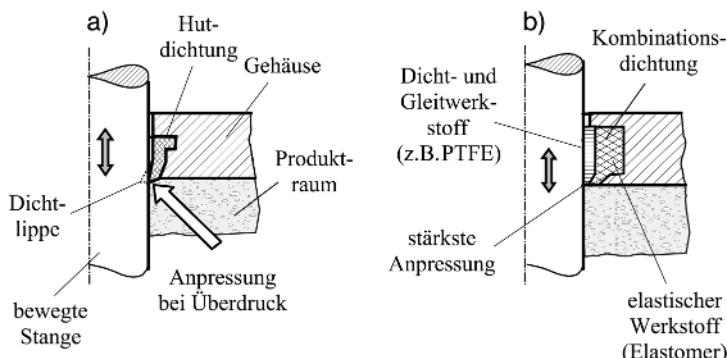


Abb. 1.58 Prinzipien dynamischer Dichtungen für keimarme Verhältnisse:
 (a) Elastomerdichtung mit Lippe, Anpressung durch Betriebsüberdruck,
 (b) Prinzip einer Kombinationsdichtung mit stärkster Anpressung
 an Produktseite.

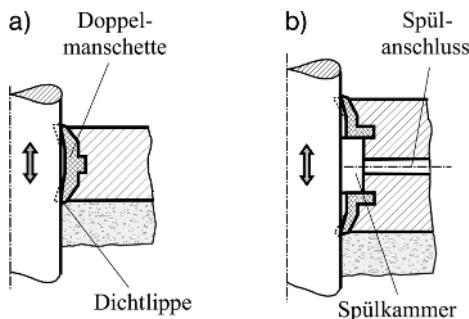


Abb. 1.59 Prinzipien der hygienegerechten Gestaltung dynamischer Dichtungen für unterschiedliche Anforderungen: (a) doppelte Lippendichtung, (b) zwei Lippendichtungen mit dazwischenliegender Spülkammer.

der von einem Spülmedium wie z. B. Kondensat oder Heißwasser durchflossen wird. Die Kammerhöhe muss dabei größer als der Hub des bewegten Elements sein, um transportierte Haftfilme lediglich in den Spülraum eintreten zu lassen. Der Spülraum muss auch einer In-place-Reinigung sowie eventuell einer Sterilisation unterzogen werden.

Bei speziellen Abdichtungen wie z. B. von Kolben wird das Dichtelement meist im bewegten Teil untergebracht. Zur Führung im Zylinder kann der Kolben z. B. mit Gleitelementen aus PTFE gelagert werden. Für keimarme Verhältnisse können Edelstahlkolben mit Kunststoffummantelung oder Vollkunststoffkolben gemäß Abb. 1.60 jeweils mit Dichtlippen ausgestattet werden, die wegen leichter Reinigbarkeit unmittelbar an der produktberührten Seite anzubringen sind. Eine sichere Reinigung ist zu erreichen, wenn der Kolben in eine spezielle Reinigungsposition gebracht werden kann, in der eine völlige Umspülung der Lippen gewährleistet ist.

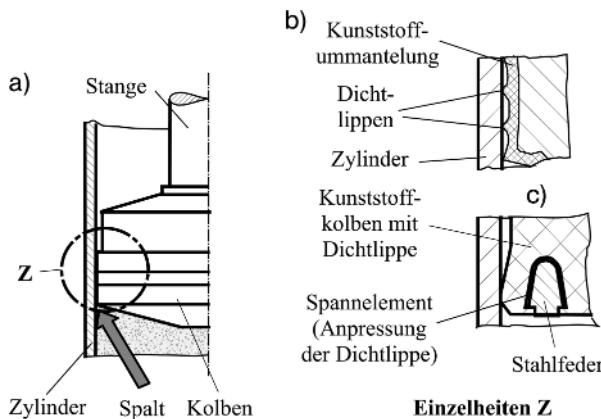


Abb. 1.60 Beispiele von Kolbendichtungen:
 (a) Prinzipdarstellung, (b) Kolben mit Kunststoffbelag,
 (c) Kunststoffkolben mit Dichtlippe.

Hermetische Abdichtungen

Hermetische Abdichtungen werden in Form von elastischen Elementen, die an den relativ zueinander bewegten Elementen befestigt oder statisch abgedichtet werden und aufgrund ihrer Gestaltung bzw. ihres Materials die Bewegung ermöglichen, zum völligen Ausschluss von Kontaminationen durch Transport von Haftfilmen z. B. bei Sterilprozessen verwendet. Die Abb. 1.61 zeigt das Prinzip einer solchen Abdichtung in Form eines Faltenbalgs. Problematisch bei der Reinigung können die Falten im Strömungsschatten sein. Bei der Lösung nach Abb. 1.61b wird eine Membran als Abdichtung verwendet.

1.4.2.2 Dichtungen für drehende Bewegungen

Bei der Abdichtung rotierender Bauteile wird das Kontaminationsrisiko durch Transport im Allgemeinen geringer eingeschätzt als bei hin- und hergehend bewegten Konstruktionen. Dies hängt damit zusammen, dass der Transport durch den Dichtspalt senkrecht (radial) zur abzudichtenden Bewegung (Rotation) liegt

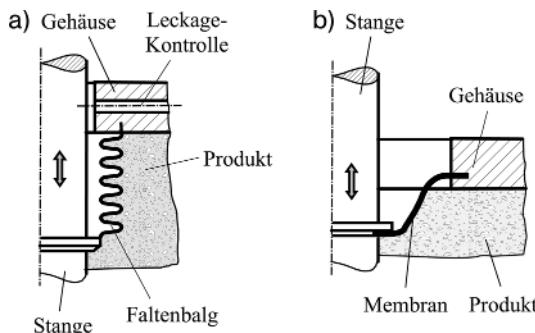


Abb. 1.61 Prinzipien hermetischer Abdichtungen: (a) Faltenbalg, (b) Membran.

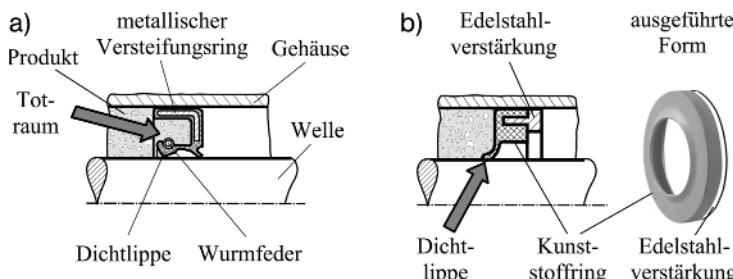


Abb. 1.62 Abdichtung einer Rotationsbewegung:

- (a) Wellendichtring (Hygienerisiko),
 (b) Prinzip eines bündigen Kunststoffrings mit Edelstahlverstärkung [68].

und damit nicht durch die Bewegung unterstützt wird. Hinzu kommt, dass der abzudichtende, hygienisch sensible Bereich häufig unter Überdruck steht, sodass ein Druckgefälle von der „reinen“ zur „unreinen“ Seite hin vorhanden ist, was eine Kontamination in umgekehrter Richtung verhindert, aber nicht ausschließt.

Wellendichtringe

Im Maschinenbau werden bei drucklosen Verhältnissen, geringen Drücken oder langsamem Bewegen radiale Wellendichtringe für die Abdichtung rotierender Maschinenteile (z. B. Wellen) verwendet, da sie als funktionsfähige Dichteinheiten gemäß Abb. 1.62a zur Verfügung stehen und in den gebräuchlichsten Ausführungen z. B. in DIN 3760 [67] genormt sind.

Aus hygienischer Sicht können sie bei In-place-Reinigung im Produktbereich nicht eingesetzt werden, da sie einen deutlichen Totraum zur Produktseite hin bilden, der nicht ausreichend reinigbar ist. Dagegen sind sie häufig im nicht produktberührten Bereich zur Abdichtung von Motoren, Getrieben usw. zu finden. Hygienisch verbesserte Konstruktionen gemäß dem Prinzip nach Abb. 1.62b oder 1.62c müssen frontbündig gestaltet werden. Grundsätzlich ist zu berücksichtigen, dass ein Transport durch die Dichtstelle hindurch stattfindet, mit dem Kontaminationsgefahren verbunden sind.

Gleitringdichtungen

Bei Gleitringdichtungen, die hauptsächlich für Fluide vom Vakuum- bis zum Hochdruckbereich eingesetzt werden, erfolgt die dynamische Abdichtung gemäß Abb. 1.63a zwischen einem mit dem rotierenden Bauteil umlaufenden Gleitring und einem feststehenden Gegenring [69]. Zum Vorspannen der Gleitringe werden Federn verwendet, die in offenliegender, produktberührter Ausführung ein Hygienerisiko darstellen. Durch Verwendung von abgedichteten Schutzhülsen kann dieses Problem beseitigt werden (s. auch [70]). Die statischen Dichtstellen müssen ebenfalls hygienegerecht gestaltet werden.

Bei hohen Hygieneanforderungen kann gemäß Abb. 1.64 eine doppelte Gleitringdichtung mit Spülkammer [71, 72] verwendet werden. Durch Spülen mit Kondensat oder Reinwasser wird ein direkter Kontakt zwischen Außen- und In-

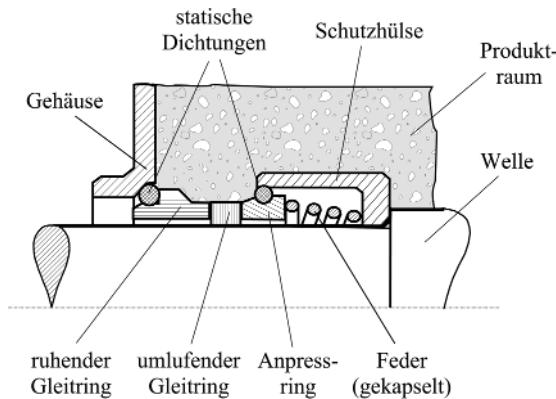


Abb. 1.63 Prinzip einer leicht reinigbaren Gleitringdichtung mit abgedeckter Feder.

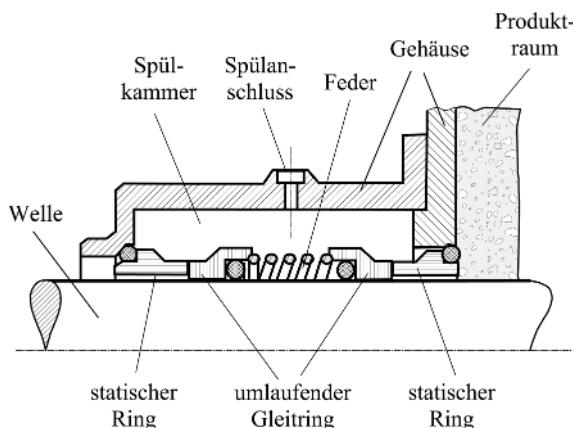


Abb. 1.64 Doppelte Anordnung von Gleitringdichtungen mit Außenliegender Spülkammer für höhere hygienische Anforderungen.

nenbereich und damit die Kontamination der Produktseite durch den Dichtspalt hindurch verhindert bzw. vermieden. Auch in diesem Fall sollte der Federbereich hygienegerecht gestaltet, d. h. gekapselt werden.

Hermetische Abdichtungen

Bei rotierenden Bewegungen ist eine hermetische Trennung von Produktraum und Umgebung durch einen Magnetantrieb gemäß Abb. 1.65 möglich. Aus hygienischer Sicht ist dabei die Lagerung des angetriebenen Elements im Produktbereich zu lösen, da sich zwischen der Welle und der als Lager dienenden Trennwand ein enger Spalt ergibt. Durch Nuten im rotierenden Teil des Lagers lässt sich jedoch eine gute Reinigungswirkung erzielen. Außerdem ist auf Entleerbarkeit im Produktbereich zu achten.

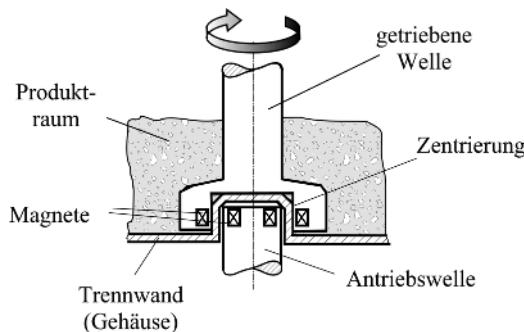


Abb. 1.65 Prinzip einer hermetischen Abdichtung mit einem Magnetantrieb.

1.5 Schraubenverbindungen

Schraubenverbindungen gehören zu den lösbareren Verbindungen. Sie sollten nur eingesetzt werden, wenn das Lösen bzw. Demontieren von Bauelementen unbedingt erforderlich ist. Die zur Verbindung dienenden Schrauben können unterschiedliche Funktion und Gestalt haben. Beim Anziehen von Befestigungsschrauben wie z. B. Durchsteckschrauben entsteht durch Drehen der Mutter eine Vorspannkraft, die eine Dehnung der Schraube und ein Zusammendrücken der verschraubten Bauteile bewirkt.

Aus hygienischer Sicht ergeben sich bei Befestigungsschrauben gemäß Abb. 1.66 eine Reihe von Problemstellen, die mit der Verbindung der Bauteile, den Formen von Schraubenkopf und Mutter sowie den Toleranzen in den Gewinden bzw. Bohrungen zusammenhängen. Metall-Metall-Kontaktflächen an der Auflage der Muttern auf den Blechen sowie der Auflage der Bleche auf dem überlappenden Blechteil, Spalte zwischen aneinander angrenzenden Blechen und offene Gewinde ergeben gravierende Hygieneprobleme, wenn sie im Produktbereich angeordnet sind.

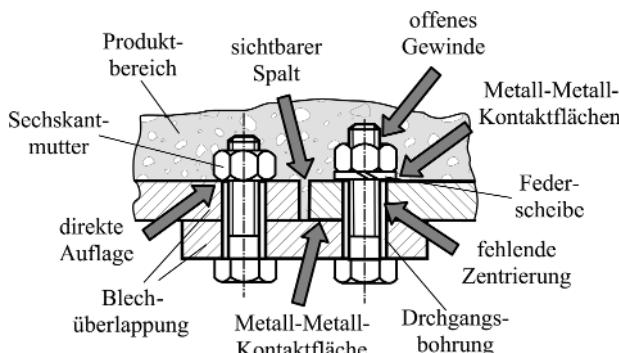


Abb. 1.66 Hygienische Problembereiche an einer herkömmlichen Schraubenverbindung.

Anhand der aufgezeigten Problemzonen kann man die Anforderungen an die hygienegerechte Gestaltung in produktberührten Bereichen allgemein folgendermaßen formulieren:

- Schraubenverbindungen sollten im Produktbereich nur in Fällen verwendet werden, wo dies wegen erforderlicher Zerlegbarkeit der Bauelemente unumgänglich ist.
- Offene Gewinde sind zu vermeiden.
- Aneinander stoßende Bauteilenden müssen hygienegerecht abgedichtet werden (Gewinde von Schrauben zentrieren im Allgemeinen nicht).
- Kontaktflächen von Metallen sind zu vermeiden bzw. hygienegerecht abzudichten.
- Sicherungselemente mit Spalten sind zu vermeiden.

Bei Apparaten für trockene Produkte, die auch trocken gereinigt werden, sind metallische Berührflächen zulässig, wenn eine definierte Anpressung garantiert ist.

Schrauben werden auch häufig zur Umsetzung einer Drehbewegung in eine Längsbewegung oder umgekehrt eingesetzt, um eine Relativbewegung zwischen den Bauteilen zu erzeugen. Bewegungsschrauben werden dabei wie bei Maschinenspindeln zur Erzeugung einer Bewegung verwendet, während bei Stellschrauben die Bewegung zum Einstellen einer bestimmten Lage der Bauteile zueinander wie z. B. an Maschinenfüßen genutzt wird. In der eingestellten Lage befinden sich die Bauelemente dann in Ruhe. In beiden Fällen muss bei der hygienegerechten Gestaltung darauf geachtet werden, dass vor allem in Muttern geführte Gewindeteile im Produktbereich vermieden werden.

1.5.1

Hygienegerechte Schrauben und Muttern

Die Benennung von Schrauben, Muttern und Zubehör ist in [73, 74] international festgelegt. Die meisten Ausführungen sind im Produktbereich wegen Hygienerisiken zu vermeiden. Eine leicht reinigbare Lösung bieten Hutmuttern [75, 76], wenn sie gemäß Abb. 1.67a das Gewinde abdecken und an der Auflage abgedichtet sind. Um eine Beschädigung der Dichtung beim Anziehen (Drehbewegung) zu vermeiden, sollten nur Muttern mit Bund eingesetzt werden. Der dargestellte Dichtring mit Metallanschlag wurde von der EHEDG empfohlen und in DIN EN ISO 14 159 [27] übernommen. In [26] wird der Einsatz von nicht genormten Hutmuttern empfohlen, die mit unterschiedlichen Ansätzen an der Auflage ausgeführt werden können, wie z. B. die in Abb. 1.67b dargestellte Mutter mit konischer Kopfform und zwei ebenen Flächen als Schlüsselweite. In Verbindung mit einer hygienegerecht gestalteten Abdichtung, deren Nut direkt in die Mutter integriert werden kann, sind auch solche Formen als hygienegerecht einzustufen.

Sechskantschrauben nach DIN EN ISO 4014 [77] sind ebenfalls leicht reinigbar, wenn sie mit Bund und Abdichtung zwischen Schraubenkopf und Auflage ver-

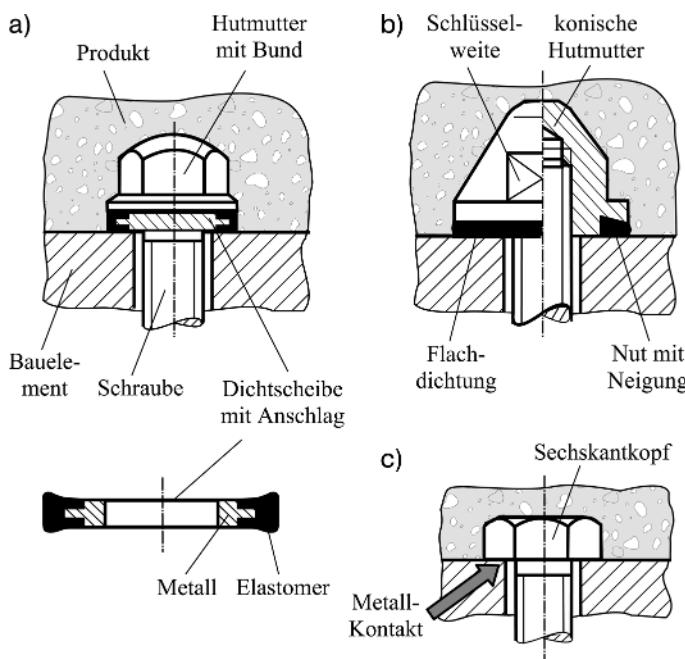


Abb. 1.67 Beispiele für hygienegerechte Schraubenköpfe bzw. Muttern:

- (a) Hutmutter mit kombinierter Elastomer-Metall-Beilagscheibe,
- (b) konische Hutmutter,
- (c) Schraubenkopf mit Metallkontakt bei Trockenprodukten.

wendet werden. In der in Abb. 1.67c gezeigten Form sollten Sechskantschrauben nur für Trockenprodukte eingesetzt werden. Ein geringes Hygienerisiko besteht bei Queranströmung im Strömungsschatten hinter den abgebildeten Köpfen (Vorsprung), das sich jedoch durch wechselnde Reinigungsrichtung weitgehend beseitigen lässt.

1.5.2

Gestaltung der Verbindung

Bei der Gestaltung von Schraubenverbindungen wird davon ausgegangen, dass im Produktbereich in-place gereinigt wird. Bei Reinigung im zerlegten Zustand gelten vereinfachte Anforderungen.

Nach DIN EN 1672-2 [26] müssen lösbare Verbindungen „*eine bündige und hygienische einwandfreie Passung haben*“. DIN EN ISO 14 159 [27] fordert darüber hinaus, dass sie „*an der produktberührten Oberfläche bündig und hygienisch abgedichtet*“ werden müssen. Den gleichen Standpunkt nimmt die EHEDG [3] ein, die ebenfalls grundsätzlich eine Abdichtung fordert. Zu den bereits in Abb. 1.66 aufgezeigten Hygienerisiken zeigt Abb. 1.68 als weitere Problembereiche die durch die Überlappung der Bleche entstehende Stufe sowie die Metallkontakte

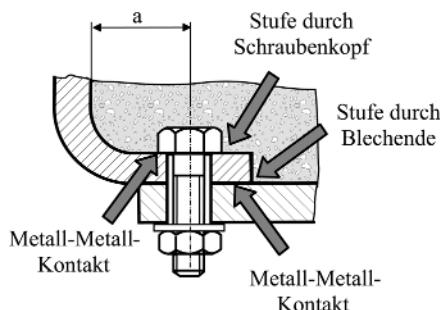


Abb. 1.68 Problembereiche einer überlappenden Schraubenverbindung.

mit eventuellem Spalt am Blechende und am Schraubenkopf. Hinzu kommt, dass ein zu geringer Abstand a zur Seitenwand die Reinigung behindert.

Bei nicht vermeidbaren Überlappungen muss das überstehende Blechende hygienegerecht abgedichtetet und bei dickeren Blechen zusätzlich abgeschrägt werden. Die Schraubenverbindung sollte außerdem weit genug von der inneren Kante entfernt sein. Generell sollten sich mehrere Stellen mit Hygrierisiken nicht in einem engen Bereich häufen.

Bei bündigen Blechen müssen die Enden abgedichtet werden, um Spalte zu vermeiden. Da Durchsteckschrauben (linke Seite von Abb. 1.69a) aufgrund der größeren Bohrung keine einwandfreie Pressung der Dichtung am Stoß der Bleche ermöglichen, kann dies nur durch eine definierte Fixierung der Bauteile z. B. durch Zylinder- oder Kegelstifte erreicht werden. Obwohl Stifte eine Presspassung erhalten, werden sie im Produktbereich wegen eventueller mikroskopischer Spalte nicht überall akzeptiert. Außerdem sind sie bei häufigerem Zerlegen der Verbindung problematisch. Bei Montage ist die Dichtung quer zur Verschraubungsrichtung vorzuspannen.

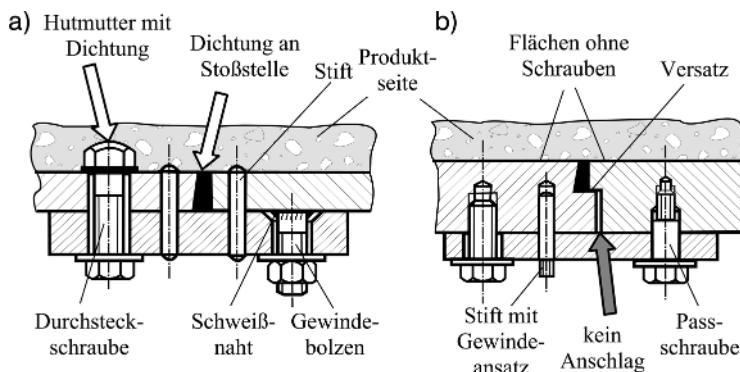


Abb. 1.69 Prinzipien hygienegerechter Schraubenverbindungen mit abgedichteten Blechenden:

- (a) Stifte zur Festlegung der Bleche mit Durchgangsschraube bzw. außerhalb des Produktbereichs angeschweißtem Gewindegelenk,
- (b) Anordnung von Schrauben außerhalb des Produktbereichs.

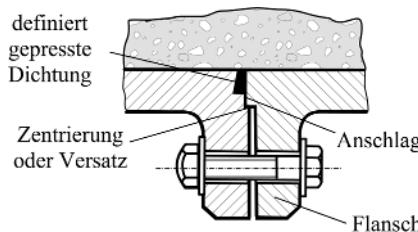


Abb. 1.70 Flanschverbindung mit hygienegerechter Abdichtung.

Durch Anschweißen von Gewindegelenken an der Nicht-Produktseite der Bleche (rechte Seite von Abb. 1.69a) können Schraubenköpfe im Produktbereich vermieden werden (siehe auch [3]). Aber auch im Nicht-Produktbereich sollte eine Abdeckung des offenen Gewindes mithilfe einer Hutmutter vorgenommen werden, um die Reinigung solcher Stellen zu ermöglichen.

Bei dickeren Wandstärken der Bleche lassen sich Schrauben und Stifte in Sackbohrungen von der Nicht-Produktbereich aus montieren (linke Seite von Abb. 1.69b), sodass die produktseitige Oberfläche frei von Schraubenköpfen oder Muttern bleiben kann. Die definierte Lage der Bleche zueinander kann nicht nur durch Stifte, sondern auch durch Passschrauben gemäß der rechten Seite von Abb. 1.69b festgelegt werden.

Auch Flanschverbindungen lassen sich sowohl bei rotationssymmetrischen als auch bei flächigen Bauteilen hygienegerecht einsetzen. Von Vorteil ist, dass in diesem Fall die Dichtung an den Blechenden durch die Schraubenkraft bis zum Anschlag entsprechend Abb. 1.70 definiert gepresst werden kann. Das Fluchten der Bleche wird durch eine Zentrierung oder einen Versatz gewährleistet.

Es ist noch darauf aufmerksam zu machen, dass an offenen Apparaten sowie in hygienerelevanten Räumen (z. B. Reinräumen) auch die Außenseiten von Schraubenverbindungen eventuell zum Produktbereich zu zählen sind. Das Beispiel nach Abb. 1.70 lässt erkennen, dass in diesem Fall nicht nur Schraubenkopf und Mutter hygienegerecht zu gestalten sind, sondern auch der Spalt zwischen den

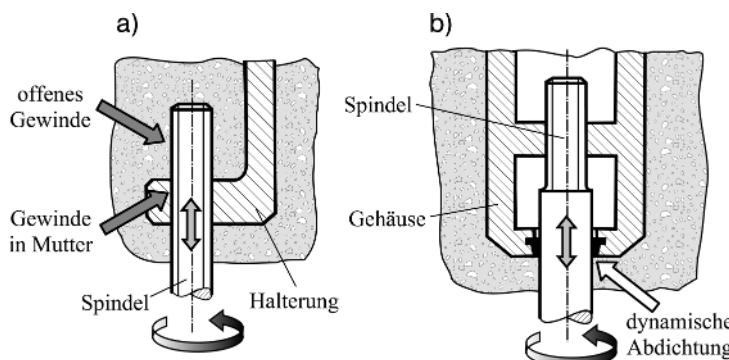


Abb. 1.71 Prinzip der Gestaltung von Gewindestindeln:
(a) hygienische Gefahrenstellen, (b) hygienegerechte Gestaltung.

Flanschen sowie das Gewinde der Verschraubung in diesem Bereich Hygienerisiken ergeben und deshalb vermieden werden müssen. Dies wäre bei runden Teilen z. B. durch eine zusätzliche hygienegerechte Dichtung am äußeren Spaltende des Flansches möglich, wie es ein Beispiel von abgedichteten Kupplungsflanschen nach Abb. 1.76 zeigt.

Im Produktbereich liegende offene Gewindespindeln von Bewegungsschrauben gemäß Abb. 1.71a müssen wegen des Gewindes und des spiralförmigen, nicht reinigbaren Spalts zwischen Spindel und Mutter vermieden werden. Um diese Hygienerisiken auszuschalten, muss das Gewinde entsprechend Abb. 1.71b in den Nicht-Produktbereich verlegt und zum Produktbereich hin hygienegerecht abgedichtet werden. Bei Bewegungsschrauben sind dafür dynamische Dichtungen erforderlich, während bei selten verstellten Stellschrauben, hygienegerecht gestaltete, statische Dichtungen mit guten Gleiteigenschaften ausreichen können.

1.6

Achsen und Wellen

Achsen dienen zur Lagerung von Bauteilen und können ruhend oder umlaufend verwendet werden. Wellen übertragen ein Drehmoment und führen meist eine Drehbewegung oder Teile davon aus.

Im Allgemeinen werden im Produktbereich nicht rostende Edelstähle eingesetzt, die in manchen Fällen bzw. Bereichen härtbar sein müssen. Bei der Oberflächenqualität sollten die empfohlenen Anforderungen an Rauheit und Struktur eingehalten werden. Höhere Qualitäten wie z. B. Polieren oder Läppen müssen bei der Art der Bearbeitung entsprechend berücksichtigt werden. Soweit möglich sollten Wellen mit gleich bleibendem Durchmesser verwendet werden. Notwendige Wellenabsätze sind gemäß Abb. 1.72 ausreichend auszurunden, Wellenenden abzuschrägen oder zu runden.

Spezielle Wellenausführungen im Produktbereich erfordern zusätzliche hygienegerechte Gestaltungsmaßnahmen. So müssen z. B. biegsame Wellen, die gemäß Abb. 1.73 aus mehreren Lagen schraubenförmig gewickelter Drähte bestehen, mit einem hygienegerechten Schutz (z. B. Schutzschlauch) aus einem zugelassenen Material ummantelt werden, der an den Enden hygienegerecht abzudichten ist. Eine erheblich einfachere Hygienelösung stellen glatte Biegestäbe dar, die sich bei geringen Durchbiegungen und entsprechender Länge einsetzen lassen.

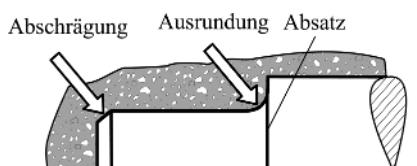


Abb. 1.72 Gestaltung von Wellen (Wellenende und Absatz).

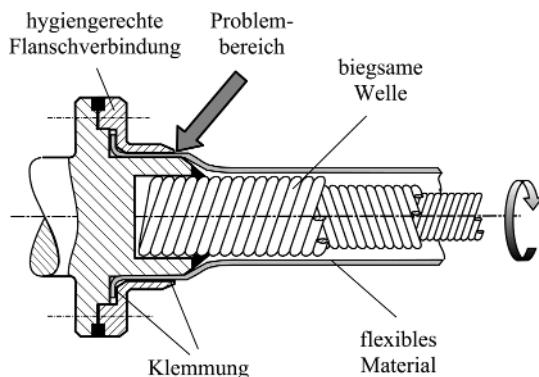


Abb. 1.73 Biegsame Welle mit Schutzhülse.

Teleskopwellen für notwendige Längsbewegungen von Antrieben im Produktraum, bei denen zur Übertragung des Drehmoments z. B. ein Vielnutprofil oder eine Gleitfederverbindung benutzt werden, können am Problembereich der Verbindungsstelle nach Abb. 1.74a mit einer hygienegerecht gestalteten dynamischen Dichtung ausgestattet werden. Dabei ist jedoch durch den möglichen Transport durch den Dichtspalt zwischen Innen- und Außenraum ein Kontaminationsrisiko verbunden (s. auch Abschnitt 1.4.2). Eine hygienegerechte Lösung kann durch ein hermetisch dichtendes Schutzelement wie z. B. einen Faltenbalg gemäß der Prinzipdarstellung nach Abb. 1.74b erreicht werden.

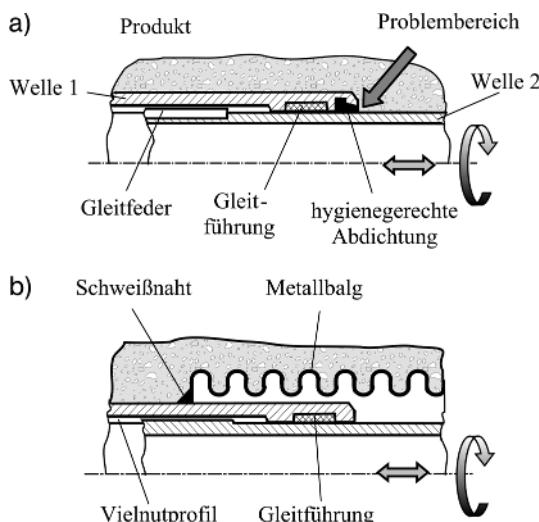


Abb. 1.74 Detail einer Teleskopwelle:
(a) mit dynamischer Dichtung, (b) mit Faltenbalg.

1.7

Wellen-Naben-Verbindungen

Wellen-Naben-Verbindungen dienen zur Übertragung von Drehmomenten und axialen Kräften zwischen Welle und Nabe und können durch Formschluss, vorgespannten Formschluss, Reibschluss oder Stoffschluss realisiert werden. In produktberührten Bereichen müssen auch im Detail die essenziellen Anforderungen von Hygienic Design erfüllt werden. Während Abb. 1.75a das Übertragungsprinzip an einer üblichen Passfederkonstruktion zeigt, sind bei der hygienegerecht verbesserten Gestaltung nach Abb. 1.75b metallische Kontaktflächen sowie die Passfeder in der Nabe abzudichten. Die Dichtung sollte auch im Bereich der Nut definiert gepresst werden. Das bedeutet, dass ihr innerer Durchmesser außerhalb der Nut liegen muss. Auf die Vielfalt der Verbindungsarten sowie auf Einzelheiten von Konstruktionsmöglichkeiten wird in [1] ausführlich eingegangen.

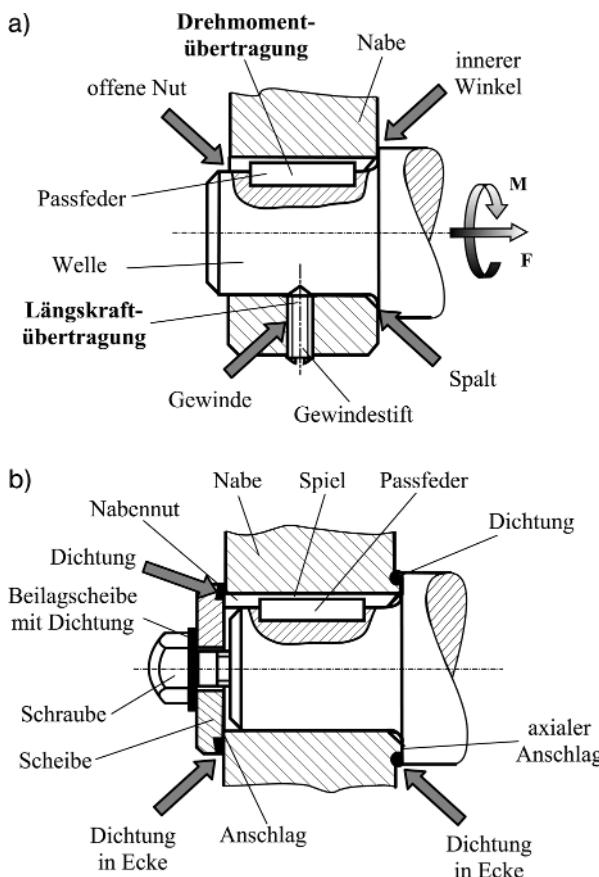


Abb. 1.75 Beispiel einer formschlüssigen Wellen-Naben-Verbindung:
(a) Problemstellen, (b) hygienegerechte Verbesserung.

1.8

Wellenkupplungen

Kupplungen haben die Aufgabe, Wellen miteinander zu verbinden, um Drehmomente ohne Wandlung zu übertragen. Das heißt, dass sie im stationären Zustand gleich große Drehmomente am Ein- und Ausgang aufweisen. Grundsätzlich können Kupplungstypen verwendet werden, bei denen die zu verbindenden Wellen entweder fluchten müssen oder zur Kompensation axialer bzw. winkeliger Abweichungen gegeneinander speziell konstruiert sind. Außerdem können bestimmte Kupplungen zum „Schalten“, d. h. zum Verbinden und Trennen von zwei Wellen verwendet werden.

Als Beispiel für die Verwendung in produktberührten Hygienebereichen ist in Abb. 1.76 eine einfache elastische Scheibenkupplung dargestellt. Sie ist durch eine hygienegerechte Abdichtung der Flansche mit Zentrierung und axialem Anschlag, Ausrundung innerer Ecken, geneigte horizontale Flächen sowie eine hygienegerecht gestaltete Schraubenverbindung gekennzeichnet. Die Elastomeroberfläche muss porenfrei sein. Eine Problemstelle kann der Rand der Vulkanisierung darstellen, die sich ablösen kann, wenn sie nicht entsprechend geschützt ist. Weitere Kupplungen werden in [1] diskutiert.

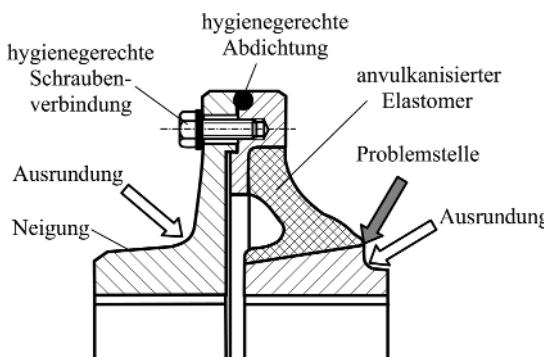


Abb. 1.76 Beispiel einer hygienegerecht gestalteten elastischen Kupplung.

1.9

Lager

Lager dienen zum Führen von Maschinenelementen, die eine drehende Bewegung wie z. B. Wellen, Achsen und Bolzen oder eine hin- und hergehende Bewegung wie z. B. Ventil- oder Kolbenstangen ausführen. Gleichzeitig müssen sie die Belastungen der zu lagernden Bauteile aufnehmen. Unter hygienischen Aspekten ist eine exakte Lagerung, die möglichst statisch bestimmt ausgeführt werden sollte, eine wesentliche Voraussetzung für die Funktion dynamischer Dichtungen.

Im Allgemeinen sollten Lagerstellen von bewegten Bauelementen in den Nicht-Produktbereich verlegt werden und soweit erforderlich durch dynamische Dichtungen wie Gleitringdichtungen oder vorgespannte Lippendichtungen zum Produktraum hin abgedichtet werden. Nach DIN EN ISO 14 159 [27] müssen geschmierte Lager einschließlich solcher Lagertypen, die rundherum abgedichtet sind, außerhalb der produktberührten Oberfläche angeordnet werden. Zwischen Lager und der produktberührten Oberfläche sollte ein angemessener Abstand für Kontrollzwecke offen sein. Für Fälle, in denen sich aus funktionellen Gründen eine Lagerung direkt im Produktbereich nicht vermeiden lässt, müssen hygienegerechte Konstruktionen eingesetzt werden, um Kontaminationsgefahren auszuschließen.

Bei Gleitlagern wird bei Drehbewegungen der Wellenzapfen der Welle oder bei hin- und hergehender Bewegung die Stange bzw. der Kolben unmittelbar im Lager axial oder radial geführt. Der direkte Kontakt zwischen Lager und Bauteil führt bei Bewegungsbeginn jeweils zu fester Reibung und damit Verschleiß, der durch geeignete Werkstoffwahl herabgesetzt werden kann. Im Betriebszustand sollte flüssige Schmierung stattfinden. Da Edelstahl bei Kontakt mit Edelstahl zum Fressen neigt, werden entsprechende Lagerwerkstoffe mit guter Gleitfähigkeit wie Legierungen aus Zinn, Nickel und Silber oder Auskleidungen mit geeigneten PTFE-Werkstoffen eingesetzt. Zugelassene Schmierstoffe wie z. B. H1-Schmiermittel [78, 79] dürfen nur bei abgedichteten Lagern verwendet werden.

Die Prinzipdarstellung eines produktgeschmierten radialen Gleitlagers ohne axiale Führung nach Abb. 1.77 veranschaulicht, dass axiale Nuten mit großen Ausrundungen im Wellenzapfen eine ausreichende Produktschmierung sowie eine leichte Reinigung gewährleisten [3, 26, 27, 80]. Nutfreie Wellen und Lager bilden einen engen Spalt, der sich nicht reinigen und daher nicht im Produktbereich einsetzen lässt.

Für Drehbewegungen eingesetzte Wälzlager sind entsprechend Abb. 1.78 im Allgemeinen einbaufertige Maschinenelemente, die wegen ihres komplizierten Aufbaus nicht direkt für produktberührte Bereiche geeignet sind. Für hygienische Anforderungen muss der Lagerbereich durch eine Doppeldichtung eventuell mit

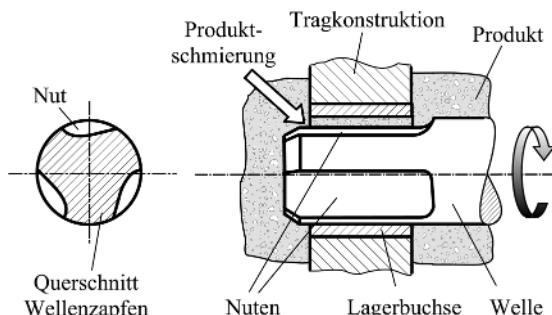


Abb. 1.77 Reinigbar gestaltetes radiales Gleitlager (nach [80]).

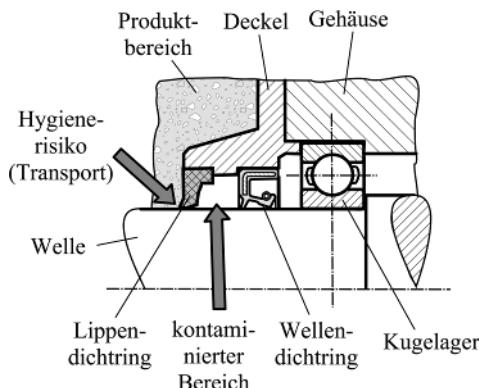


Abb. 1.78 Prinzip einer hygienegerechten Abdichtung von Wälzlagern für keimarme Einsatzfälle.

dazwischenliegendem Spülraum sowohl gegenüber dem Produktraum als auch dem Lager wegen Fettaustritts abgedichtet werden. Das Prinzipbeispiel zeigt die Abdichtung durch einen Wellendichtring zum Lager hin, während die Produktseite durch einen bündigen Elastomerring mit Lippe (siehe auch Abschnitt 1.4.2.2) abgedichtet wird. Auf das Hygienerisiko durch den Transport dünner Filme durch den Dichtspalt wurde im Abschnitt 1.4 bereits hingewiesen.

Durch Reinigbarkeitstests konnte die leichte Reinigbarkeit von direkt durchströmten Kugellagern z. B. aus Keramik nachgewiesen werden. Allerdings liegen bei solchen Konstruktionen nur Betriebserfahrungen mit Wasser vor.

1.10 Getriebe

Getriebe wie z. B. Riemen-, Ketten-, Reibrad- oder Zahnradgetriebe dienen zum Wandeln von Drehzahlen und Drehmomenten zwischen Wellen. In dieser Funktion handelt es sich um Maschinenelemente, die nicht im Produktbereich eingesetzt, sondern in getrennten Gehäusen oder gekapselten Bereichen von Maschinen und Apparaten untergebracht werden sollten. Eine Abdeckung z. B. von Keil-, Flach- oder Kettenantrieben durch Schutzbretter oder andere Schutzworrichtungen in hygienerelevanten Produktionsräumen, in denen Produkte in offener Weise hergestellt oder abgepackt werden, ist im Allgemeinen keine ausreichende Maßnahme, um Kreuzkontamination durch Schmiermittel und Schmutz einschließlich Mikroorganismen zu vermeiden. In Sonderfällen (z. B. Orbital-Reinigungsgeräte) werden Getriebe offen gestaltet und in die Reinigung einbezogen.

1.11

Elektromotoren

Meist werden Elektromotoren im Nicht-Produktbereich eingesetzt, in dem übliche Ausführungen den Anforderungen genügen. Sie unterliegen auch nicht der Maschinenrichtlinie [25], sondern der sogenannten Niederspannungsrichtlinie [81]. Bei Einsatz in Hygienebereichen oder bei Produktkontakt ist jedoch eine hygienegerechte Ausführung unbedingt notwendig. Problematische Bereiche wie z. B. Vertiefungen im Gehäuse, schlecht zugängliche Bereiche der Kühlrippen, nicht selbsttätig ablaufende Stellen, Wellenenden mit Passfeder, Gehäuseschrauben sowie Klemmkästen mit elektrischem Anschluss müssen dann hygienegerecht ausgeführt werden. Ventilatoren zur Belüftung und Kühlung gemäß Abb. 1.79 sind in solchen Fällen zu vermeiden. Außerdem können Einbauort und -lage im Fall offener Prozessanlagen hygienische Probleme bereiten.

Hauben aus Edelstahl zur Motorabdeckung sollten in Hygienebereichen im Allgemeinen nicht verwendet werden. Wenn sie dennoch eingesetzt werden, müssen sie einfach zu entfernen sein, um eine regelmäßige Reinigung der abgedeckten Bereiche zu ermöglichen.

Für die Standardausführung von Elektromotoren wird meist eine Innenbelüftung durch Axial- oder Radiallüfter zur Kühlung verwendet, die eine wesentliche Ursache für Staub- und Schmutzansammlungen gemäß Abb. 1.80 sowie Kontaminationen darstellt.

Bei dem hygienegerecht gestalteten Motor ohne Lüfter und Rippen mit geneigten Flächen und abgerundeten Kanten entsprechend Abb. 1.81, der von der EHEDG zertifiziert wurde, erfolgt die Kühlung direkt über die Gehäuseoberfläche [82].

Für Anwendungen mit hoher Leistung in hygienerelevanten Produktionsräumen wie z. B. Reinräumen stellen Elektromotoren mit Flüssigkeitskühlung oftmals eine technisch und wirtschaftlich sinnvolle Lösung dar. Der Einsatz ist auch unter schwierigen Umgebungsbedingungen wie bei Staub, Wärme oder Kälte möglich.

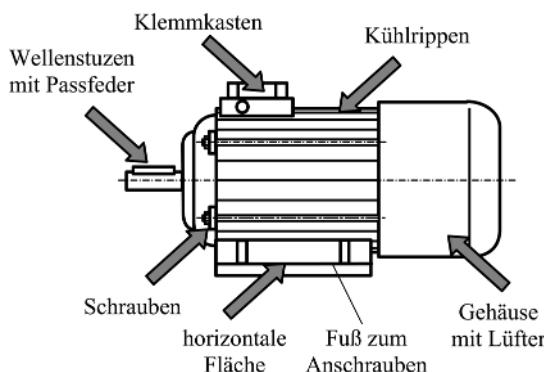


Abb. 1.79 Hygienische Problembereiche von Elektromotoren.

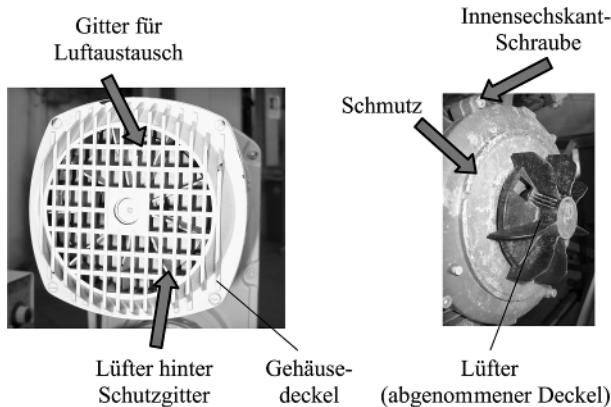


Abb. 1.80 Kontaminationsgefahr durch Motoren mit Lüftern in Hygienebereichen:
(a) Schutzgitter, (b) schwer reinigbare Schmutzstellen im Ventilatortbereich.

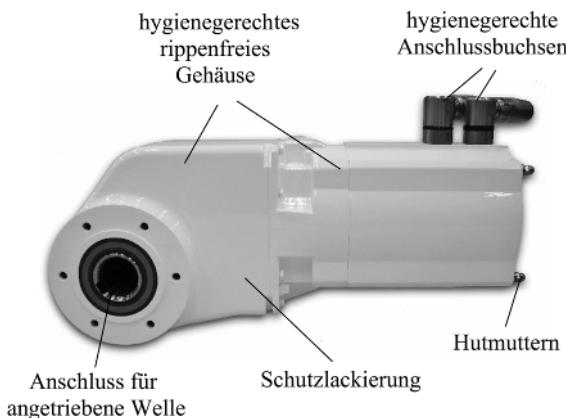


Abb. 1.81 Hygienegerecht gestalteter Motor [82].

Um Hygienerisiken auszuschließen, sollten Antriebe auch bei offenen Prozessen möglichst in den Nichtproduktbereich verlegt werden.

Ein Beispiel für die Gefahr von Kontaminationen zeigt die Anordnung eines herkömmlichen Motors mit Lüfter gemäß Abb. 1.82a in unmittelbarer Nähe eines Transportbandes mit gereinigten Flaschen zum Abfüllen. Die Luft des Lüfters kann unmittelbar die Flaschenmündung kontaminieren. Bereits durch Änderung der Anordnung entsprechend Abb. 1.82b kann die Situation erheblich verbessert werden.

Bei Antrieben über Produkten kann eine Verbesserung der Hygienesituation z. B. durch Schutzabdeckungen und andere Hygienemaßnahmen erfolgen (siehe z. B. [3]). Beim Einsatz über Behältern lässt sich der Antrieb gemäß Abb. 1.83 auf einen Deckel montieren, sodass Prozess und Reinigung geschlossen ablaufen.

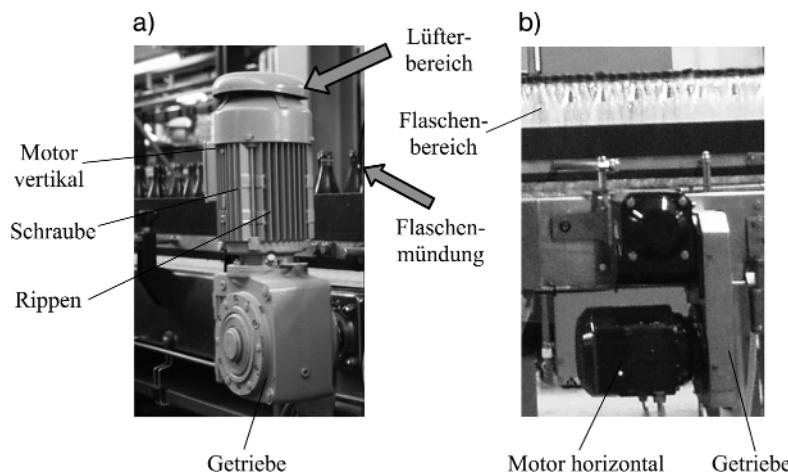


Abb. 1.82 Anordnung von Motoren in offenen Bereichen des Transports gereinigter Flaschen:
 (a) Kontaminationsgefahr durch Motorventilator im Flaschenhalsbereich,
 (b) Anordnung des Motors unterhalb der Flaschenöffnungen.

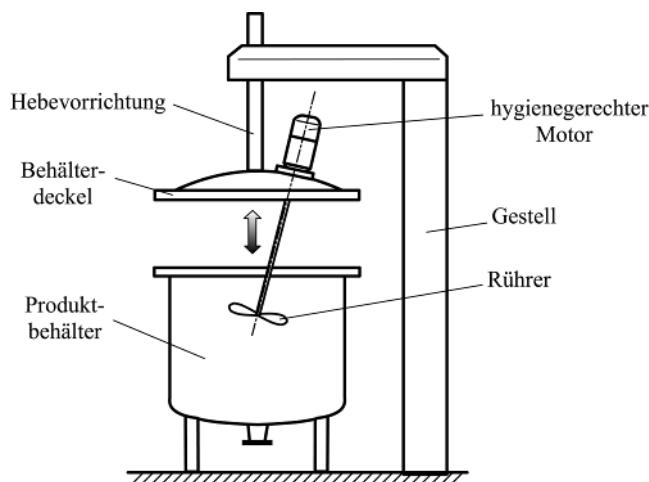


Abb. 1.83 Beispiel für die Verlegung des Motors während der Produktion in den Nicht-Produktbereich.

Wenn z. B. zum Befüllen der Behälter geöffnet wird, muss eine Kontamination aus der Umgebung auszuschließen sein, was eine hygienegerechte Gestaltung und Reinigung des gefährdenden Umfelds erfordert.