Durch experimentelle Untersuchungen sollen die Materialwerte der hier verwendeten Elastomermischungen ermittelt werden. Diese Werte werden in die FEM – Modelle eingegeben.
An einem einfachen FEM – Modell soll die Richtigkeit der Materialbeschreibung geprüft werden. Die Berechnungen sollen mit Hilfe von zwei verschiedenen FEM – Programmen stattfinden, deren Ergebnisse miteinander verglichen werden.
Im empirischen Teil soll in einem einfachen Versuch die Richtigkeit des FEM – Modells getestet werden. Weiterhin wird in diesem Teil der Versuch zur Messung der Dichtigkeit in Abhängigkeit der gewählten Faktoren vorgenommen. Die hierbei gemessene Dichtigkeit sollte mit der mit FEM errechneten Flächenpressung übereinstimmen.
Die ausreichende Übereinstimmung der gemessenen und der gerechneten Werte wird Aussagen über die Richtigkeit der Annahmen und die Bildung des FEM – Modells treffen.

Bei einer zufriedenstellenden Übereinstimmung der gerechneten und gemessenen Werte soll in der dritten Phase der Arbeit ein geeignetes FEM – Modell gebildet werden, mit dem das Drehmoment berechnet werden kann. Hierbei ist es notwendig, auf das Reibverhalten von Elastomeren einzugehen, welches wesentlich komplizierter ist, als die allgemein bekannten Coulomb´schen Reibungsgesetze. Parallel dazu soll ein Versuchsaufbau konzipiert werden, mit dem es möglich ist, die Abhängigkeit des Drehmomentes von jedem einzelnen der zu untersuchenden Faktoren zu prüfen.

Zum Abschluß der Arbeit soll die Auswertung der FEM – Simulation und der empirisch ermittelten Werte stattfinden. Es soll dabei geprüft werden, inwieweit die FEM – Simulation die empirischen Messungen nachbilden kann.
Weiterhin sollte die optimale Kombination aus allen konstruktiven Möglichkeiten herausgefunden werden, die die Anforderungen an Drehmoment und Dichtigkeit und die Verträglichkeit in der Serienfertigung erfüllt. Soweit möglich, sollten die Ergebnisse in der Serienfertigung eingeführt werden, bei gleichzeitiger Prüfung, ob die gesteckten Ziele erreicht worden sind.
Damit ist die Struktur dieser Arbeit festgelegt. Wie beschrieben, sollen im nächsten Schritt einfache FEM Modelle aufgestellt werden, mit deren Hilfe die Materialgesetze der verwendeten Elastomersorten überprüft werden sollen.
Die komplexe Beschreibung des viskoelastischen Verhaltens von Klappenventilen erfordert besondere Materialgesetze, mit deren Hilfe die Berechnung von Elastomerbeanspruchungen verwirklicht werden kann. Im nächsten Teil der Arbeit werden Stoffgesetze zunächst allgemein und dann im speziellen Fall der Elastomere erörtert.

Diese Arbeit untersucht zwei mögliche Wege, um den Einfluß aller o.g. Faktoren auf das Drehmoment und die Dichtigkeit zu quantifizieren:

- es soll ein mathematisches Modell des Differentialgleichungsproblems mit Hilfe der FEM gebildet werden
- das tatsächliche Verhalten soll auf dem rein empirischen Weg untersucht werden.

Zu den bereits aufgestellten Forderungen sollten folgende Möglichkeiten berücksichtigt werden:

- das mathematische Modell, als auch der empirische Meßaufbau sollten in der Lage sein, weitere Abhängigkeiten untersuchen zu können (z.B. die Temperatur)
- beide Methoden sollten die Möglichkeit bieten, den Einfluß einer eventuellen Schmierung untersuchen zu können

3.2 Flußdiagramm

Die Arbeit besteht im wesentlichen aus drei Teilen:

1. Konzeptphase
2. Erarbeitung des Gummimodells (Basis Einpressung)
3. FEM und empirische Untersuchungen (Basis Drehmomentmessung)
4. Auswertung

In der Konzepthase wurde die Aufgabenstellung formuliert und die generelle Erreichbarkeit der gesteckten Ziele durch Versuche an Komplettventilen untersucht.

In der zweiten Phase wird der Stand der Technik und der Forschung zum Thema Elastomere erörtert. Mittels der bereits erarbeiteten mathematischen Modelle zur Beschreibung des Werkstoffes Elastomer soll ein geeignetes FEM – Modell gebildet werden.

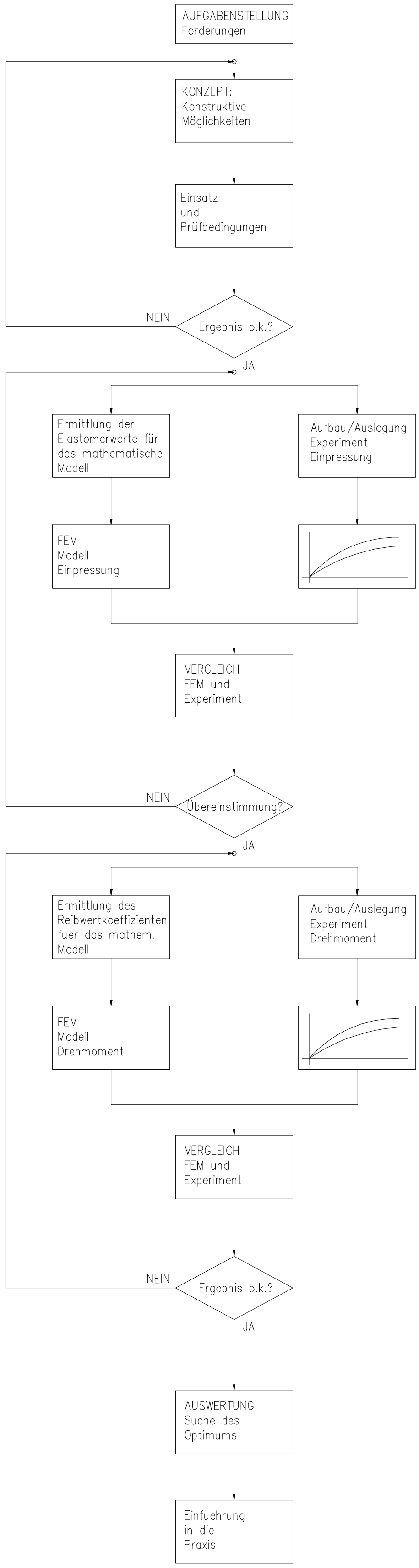


Abb.3.7. Konzept zur Drehmomentoptimierung.

eingelegt ist und nicht auf einen Tragering aufvulkanisiert worden ist. Es soll das Drehmoment einer drucklosen Klappe untersucht werden.

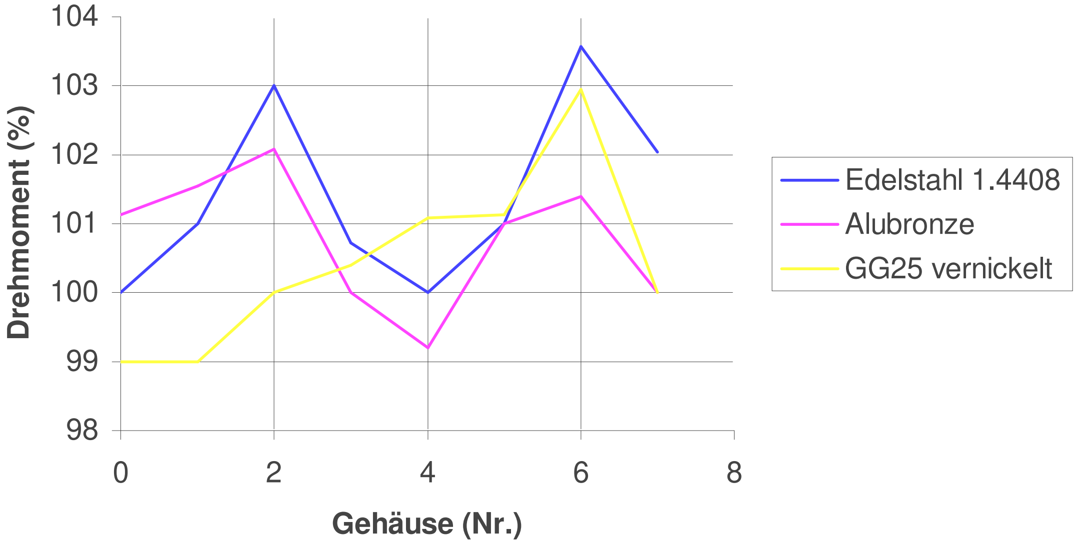
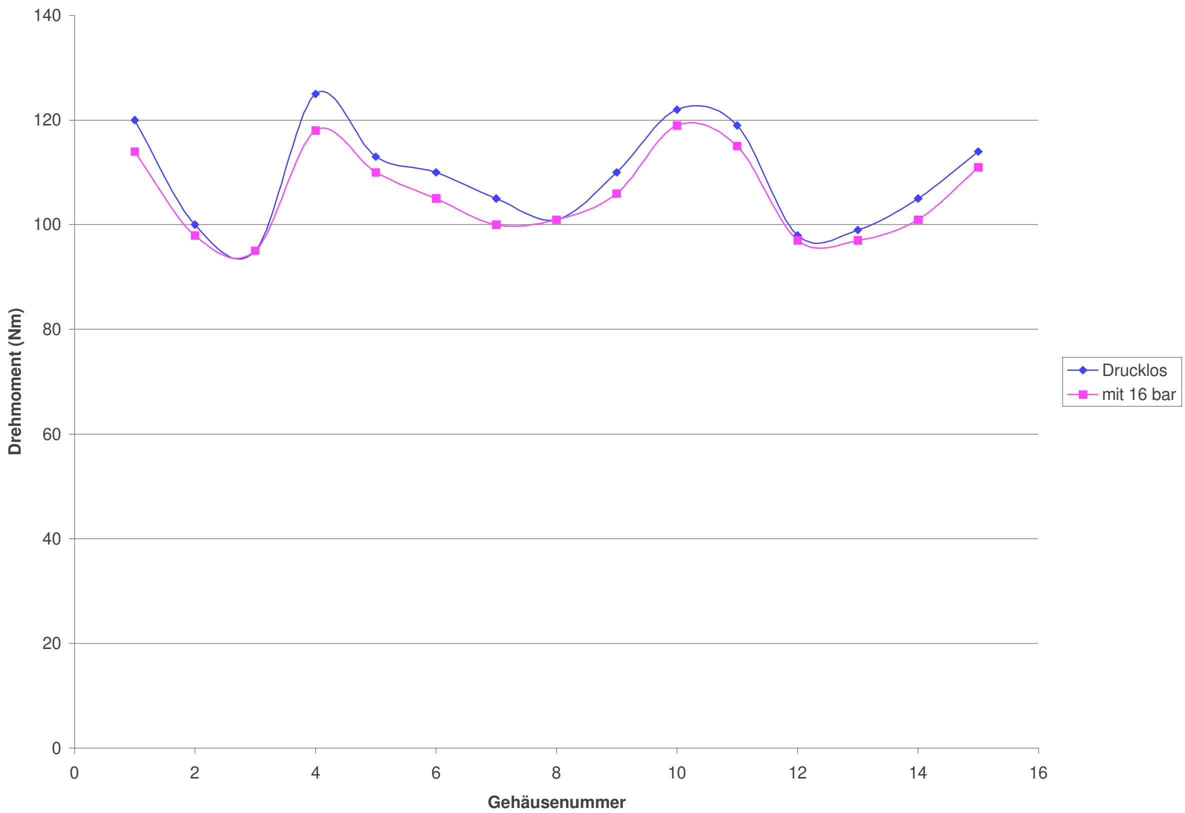


Abb.3.5 Drehmomente in Abhängigkeit des Klappenscheibenwerkstoffes

-



Drehmomente von Klappen. Ohne und mit einseitigem Betriebsdruck **Abb.3.6**

Es wurde ein Flußdiagramm (**Abb.3.7**) erarbeitet, welches die Vorgehensweise dieser Arbeit strukturieren soll.

- Die Schließgeschwindigkeit spielt ebenfalls eine Rolle für das Drehmoment. Wie groß der Einfluß ist, muß untersucht werden.
- Die Schmierung mit Schmiermitteln soll hier nicht untersucht werden, auch in der Serie ist letztendlich der schlimmste Fall ausschlaggebend: das silikonfreie Klappenventil, ohne jegliche Schmiermittel, stellt den “worst case” dar, mit dem sich der Konstrukteur auseinandersetzen muß. Zudem sind die Schmiermittel dem Medium direkt ausgesetzt, so daß man auch im normalen Betrieb der Klappe davon ausgehen muß, daß die Schmiermittel weggespült werden.
- Die Oberflächenrauhigkeit des Elastomers hat ebenfalls einen Einfluß auf das Drehmoment des Klappenventils. Diese Abhängigkeit muß ebenfalls untersucht werden.
- Bei der Oberflächenbeschaffenheit der Scheibe in den Vergleichsmessungen wurde eine technisch sinnvolle Rauhigkeit Ra = 1,6 μm gewählt. Diese Rauhigkeit kann durch Überdrehen realisiert werden, ebenso sind die immer mehr in Gebrauch kommenden Feingußscheiben aus Edelstahl in dieser Oberflächenqualität herzustellen. Diese Rauhigkeit sollte beibehalten werden, um die Fertigungskosten nicht steigen zu lassen. Die Abhängigkeit der Reibung von der Oberflächenrauheit soll untersucht werden.
- Die Überprüfung der Alterung des Elastomers und seine Resistenz gegen Medien, würde den Rahmen dieser Arbeit sprengen, deswegen wird auf diese gar nicht eingegangen, es ist lediglich zu erwähnen, daß es Medien gibt, die in der Lage sind, den Elastomer so aufquellen oder abhärten zu lassen, daß die Drehmomente ohne weiteres um den Faktor 10 höher sein können, als im Neuzustand. Es wird während der Berechnung auch kein Einfluß des Materialfließens berücksichtigt.
- Es wird das Verhalten des Elastomers bei Raumtemperatur untersucht, da übereinstimmend mit anderen Quellen, die Drehmomente bei höheren Temperaturen sinken, und hier vor allem der ungünstigste Fall von Interesse ist.
- Das Setzverhalten des Elastomers (**Abb.3.4**) wird in dieser Arbeit nicht untersucht, es wird lediglich vermerkt, daß Klappen, die lange Zeit in geschlossener Stellung waren, ein völlig anderes Drehmoment haben können, als im Neuzustand (sowohl kleiner als auch größer). Hier ist der sog. Druckverformungsrest von großer Bedeutung.
- Die Untersuchungen aus der Serienfertigung zeigen, daß es keine Abhängigkeit von der Metallsorte der Scheibe und dem Drehmoment gibt. Abb.3.5

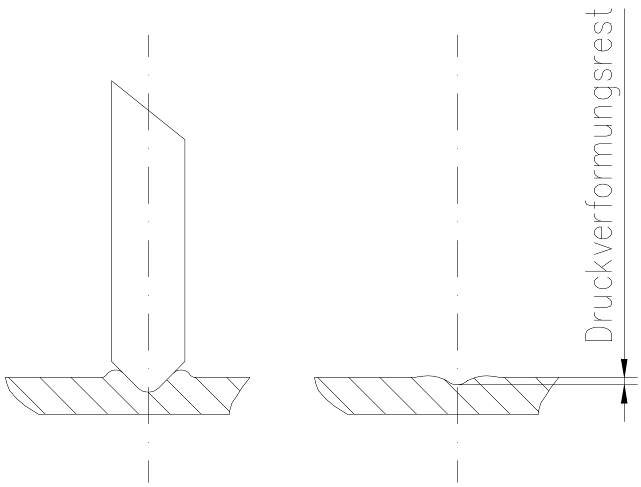


Abb.3.4 Setzverhalten des Elastomers bei länger geschlossener Klappe

- Der Betriebsdruck, der in der Klappe herrscht, hat zweierlei Auswirkung auf das Drehmoment der Klappe, zum einen bewirkt er durch die Erhöhung der Lagerkräfte in der Lagerung der Klappenscheibe eine Steigerung des Drehmomentes, welche sehr leicht berechnet werden kann. Das Reibungsverhalten zwischen Elastomer und Scheibe ändert sich entgegengesetzt: mit steigendem Betriebsdruck sinkt die Reibung zwischen Elastomer und Scheibe. (**Abb.3.6**) Dieser Effekt hat jedoch nur einen kleinen Einfluß auf das Drehmoment und auch nur bei Klappen, bei denen der Elastomer lose in das Gehäuse

- Auf die Oberflächenbehandlung des Elastomers wird hier nicht eingegangen, hierbei wird auf die Arbeit von G.Stein [11] verwiesen.

- Die Eindringtiefe der Scheibe in den Elastomer wird im wesentlichen durch die geforderte Dichtigkeit vorgegeben. Sie muß mindestens so groß gewählt werden, daß trotz aller Fertigungstoleranzen die Anzahl undichter Klappen vertretbar ist.(**Abb. 3.1**)

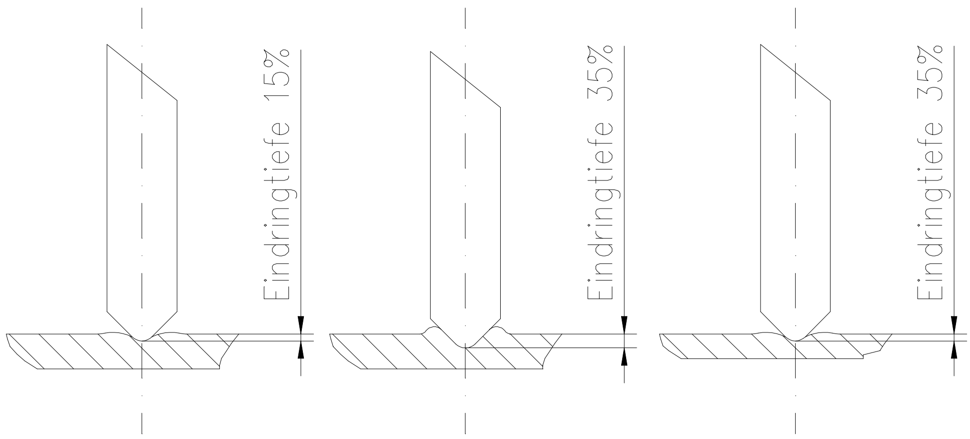


Abb.3.2 Relative Verpressung des Elastomers.

- Als relative Verpressung (**Abb.3.2**) wird das Verhältnis der Eindringtiefe zu Gesamtdicke Elastomer bezeichnet. Je nach Dicke des Elastomers werden die Kräfte unterschiedlich sein, die notwendig sind, um eine Scheibe um einen bestimmten Betrag in den Elastomer einzudrücken. Damit wird sich auch der Wert des Drehmomentes ändern.
- Die Außenkonturen der Scheibe sollen so gewählt werden, daß deren Fertigung nicht teurer wird, als in der jetzigen Serienfertigung. Auf die Details der Maße wird im späteren Teil dieser Arbeit eingegangen. Die Breite der Scheibenaußenkante (**Abb.3.3**) hat auch einen großen Einfluß auf das Drehmoment, was bereits im Versuch an Komplettventilen festgestellt worden ist.

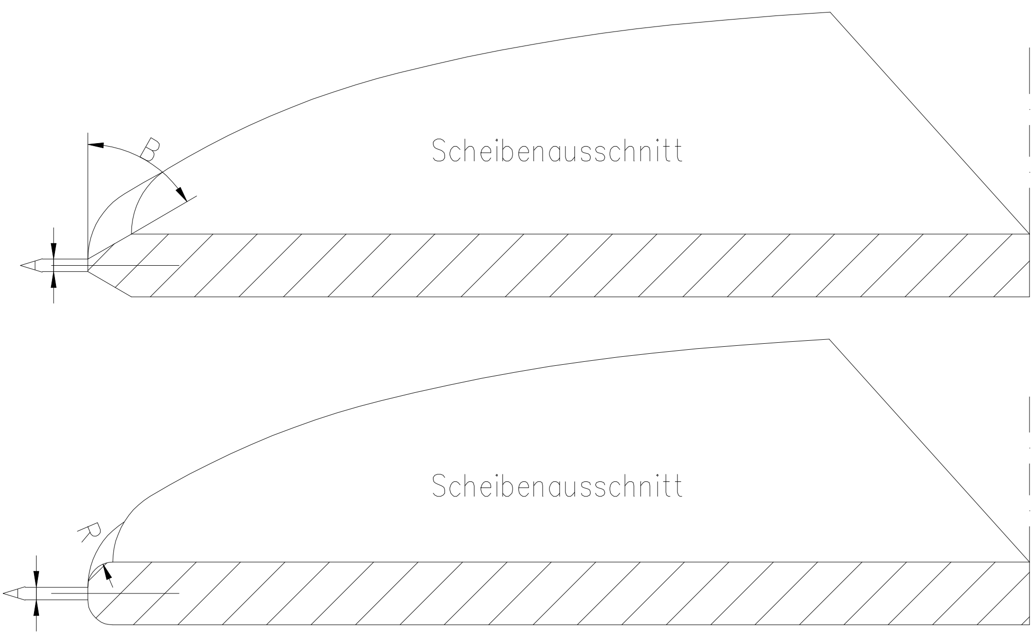


Abb.3.3 Breite „A“ der Scheibenaußenkante bei verschiedenen Scheibenkonturen.

3. Konzept zur Lösung und Aufgabenstellung

Zur Entwicklung eines Konzepts zur Drehmomentminimierung sind zunächst die Faktoren festzulegen, die den hauptsächlichen Einfluß auf die Drehmomenthöhe auch auf die Dichtigkeit ausüben.

Hier lassen sich prinzipiell zwei Faktorengruppen gegeneinander abgrenzen:

- Konstruktive Parameter
  (wie z.B. die geometrische Form der Klappe),
- Einsatz- bzw. Randbedingungen
  (wie z.B. die Oberflächengüte).

Basierend auf den Ergebnissen der Machbarkeitsstudie und Praxiserfahrungen des Autors werden diese Faktoren im folgenden festgelegt und beschrieben. Darauf aufbauend kann dann das Konzept für die weitere Vorgehensweise entwickelt werden.

3.1 Konstruktive Möglichkeiten

Die Aufgabenstellung dieser Dissertation umfaßt zwei wesentliche Teile:

- die unterschiedlichen Faktoren und deren Einfluß auf das Drehmoment eines Klappenventils
- der Einfluß dieser Faktoren auf die Dichtigkeit.

Die folgenden Faktoren sollen vorrangig untersucht werden:

- Härte des Elastomers
- Dicke des Elastomers
- Eindringtiefe der Scheibe in den Elastomer
- Außenkontur der Klappenscheibe
- Breite der Scheibenaußenkante
- Relative Verpressung des Elastomers

Folgende Beschränkungen sollen den Untersuchungsbereich eingrenzen:

- Auf die chemische Zusammensetzung des Elastomers wird nicht weiter eingegangen. Für die Untersuchungen wird der meistverwendete Elastomer benutzt. Mindestens 70% aller weltweit gebauten Klappen werden mit EPDM ausgerüstet. Das hier verwendete peroxidisch vernetzte EPDM (Ethylen Propylen Diene Modified) wurde von zwei Lieferanten bezogen, um die Fertigungsstreuung mit zu untersuchen.
- Die Härte des Elastomers wird in einem technisch sinnvollen Bereich untersucht, in den Härten von 60° bis 80° Shore in 10°, bzw. 5° Schritten.

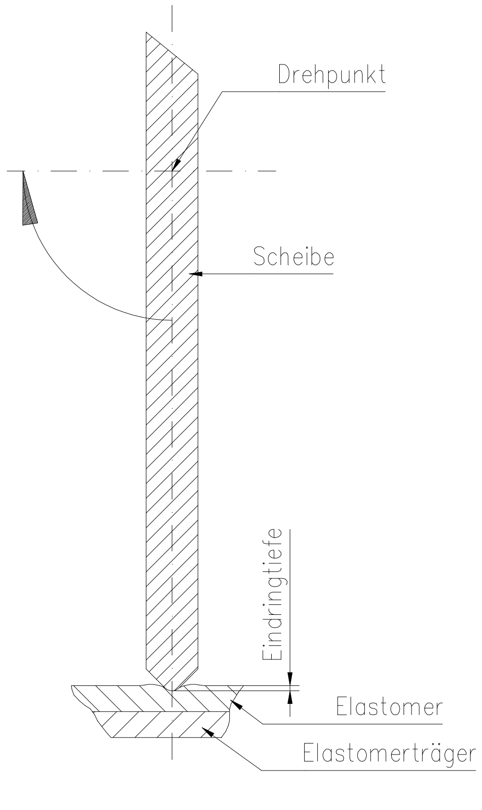


Abb. 3.1 Die Eindringtiefe der Scheibe in den Elastomer