2. Einfluß der Reibung auf das Drehmoment einer Klappe

2.1 Aufbau einer Klappe

Das Drehmoment einer Klappe hängt im wesentlichen von der Reibung ab, die zwischen der Metallscheibe und der Dichtungsmanschette aus Elastomer stattfindet. Weitere Faktoren, wie z.B. die Reibung in der Lagerung, können vernachlässigt werden, da der Anteil dieser Faktoren am Gesamtdrehmoment in der Regel unter 5% liegt.

Von hoher Bedeutung für die Reduzierung des Drehmomentes ist daher die Untersuchung der Reibung zwischen Metall und Elastomeren. Ein weiterer wichtiger Gesichtspunkt liegt in der Tatsache, daß Elastomerdichtungen meist die Systemkomponenten sind, die zuerst versagen. Die Verringerung der Bewegungsreibung (Gleitreibung) bei gummielastischen Dichtelementen, wie Nutringen, O-Ringen, Radialwellendichtringen und anderen Bauteilen, hat häufig eine Verringerung des Verschleißes und damit eine höhere Lebensdauer des Dichtsystems zur Folge. Der Wunsch nach Wartungsfreiheit bei praktisch jedem Gerät betrifft damit in allererster Linie die Dichtungen.

Darüber hinaus ist bei vielen Anwendungsfällen eine möglichst geringe Anlaufreibung (Haftreibung) von großer Bedeutung. Gerade in der Armaturenindustrie besitzt diese Frage einen sehr großen Stellenwert. Unabhängig davon, ob es sich um ein Sitzventil in einer Anlage, einen Kugelhahn oder eine Klappe handelt, ähnlich wie bei einem Hydraulikzylinder, ist das möglichst ruckfreie Anfahren und das reibungsarme Betätigen eines der wichtigen Ziele. Gerade bei Anwendungen, bei denen eine Regelung stattfinden soll, spielt die Haftreibung eine besonders große Rolle, da sie zwangsläufig zu einer hysteresebehafteten Kennlinie des Systems führt. Die Minimierung des Unterschiedes zwischen Haft- und Gleitreibung wird bei einigen Anwendungsfällen ebenfalls angestrebt. Wegen der hohen Bedeutung der Reibung zwischen Metall und Elastomer ist dieser Bereich in der Vergangenheit zwar oft untersucht worden, jedoch machen fast alle Arbeiten ausschließlich qualitative Aussagen. Gerade die Komplexität des Werkstoffes Elastomer macht es praktisch für jeden Anwendungsfall äußerst kompliziert, diesen mit numerischen Verfahren zu simulieren.

Veröffentlichte Untersuchungen befassen sich zumeist mit sehr einfachen Belastungszuständen des Elastomers. Das viskoelastische Verhalten von Elastomeren, die nichtlineare Charakteristik des Materials, der äußerst komplexe Aufbau des Werkstoffs, die Probleme bei der exakten Bestimmung der Werkstoffeigenschaften, die schwer zu definierenden Einflüsse der Adhäsion, der Gleitreibung und der Verformungsarbeit von Elastomeren auf die Kräfteverhältnisse des Modells, machen jedoch auch das einfachste Bauteil zu einem äußert komplizierten System.

Hinzu kommt, daß Elastomerbauteile meist verhältnismäßig billig sind. Deswegen lohnt es sich in den meisten Fällen eher, eine empirische Untersuchung anzustellen, als den Versuch zu unternehmen, die mathematische Nachbildung des Werkstoffes Elastomer zu erarbeiten.

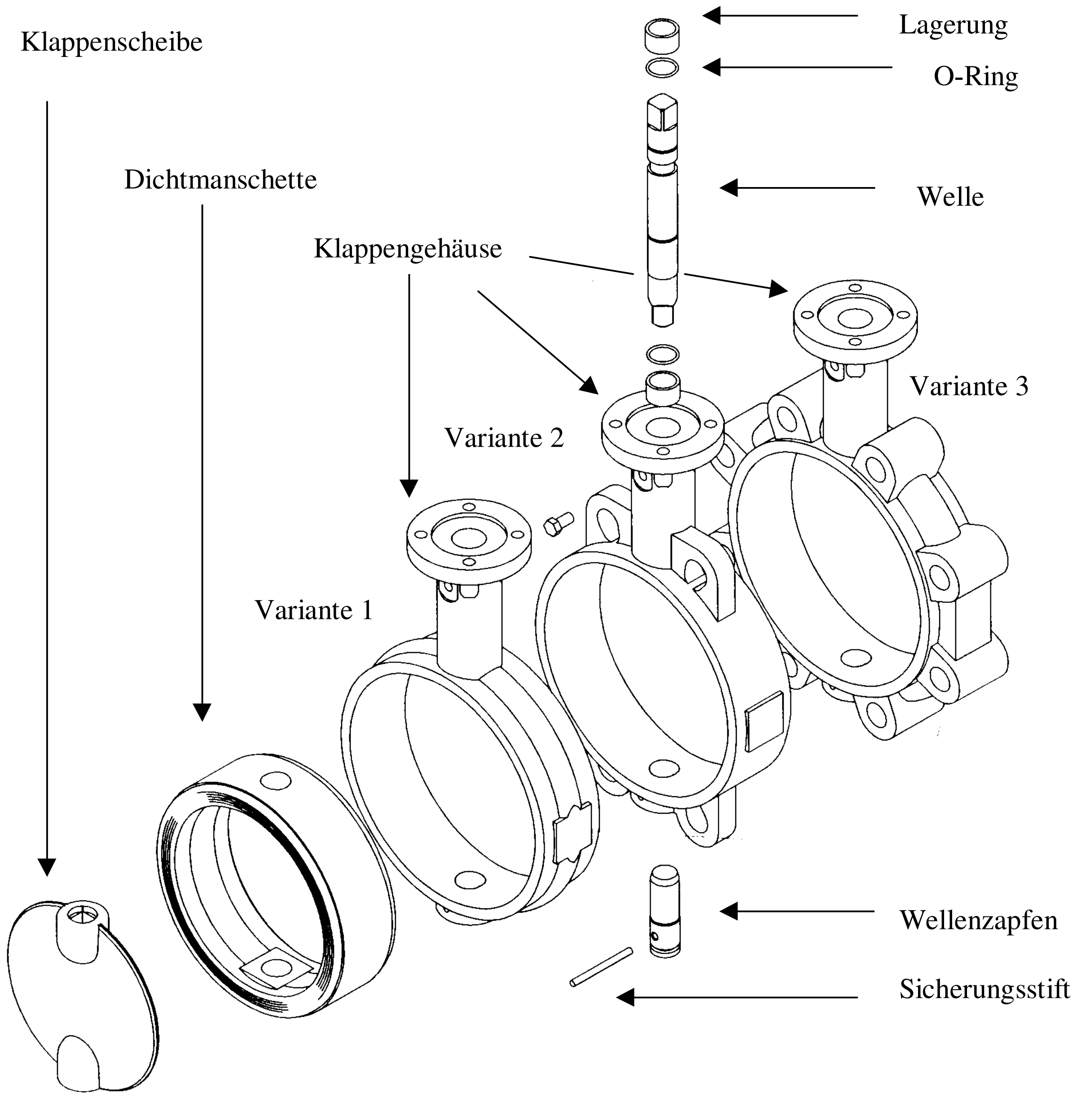

Abb.2.1 Explosionszeichnung einer Absperrklappe in 3 verschiedenen Gehäusevarianten.

Gerade die Tatsache, daß die meisten Hersteller von Elastomerbauteilen ständig mit neuen Mischungen arbeiten und diese weiter verbessern, macht jegliche Untersuchung schwierig. Da die kleinste Änderung der Mischung oder des Herstellungsverfahrens bereits größte Änderungen der Eigenschaften zur Folge haben kann, würde jede neue Elastomersorte viele Untersuchungen nach sich ziehen, um das mathematische Modell neu zu erstellen.

Zum weiteren Verständnis der zu untersuchenden Vorgänge ist zunächst eine Beschreibung des Konstruktionsprinzips einer zentrisch gelagerten, weichdichtenden Absperrklappe notwendig **Abb. 2.1 und 2.2**.

In einen metallischen Gehäusekörper wird ein Tragering eingelegt, auf den ein Elastomer auf dem Innendurchmesser aufvulkanisiert worden ist. Senkrecht zur Achse des Tragerings wird eine Klappenscheibe eingebracht, die mittels einer Welle im Gehäuse drehbar gelagert ist.

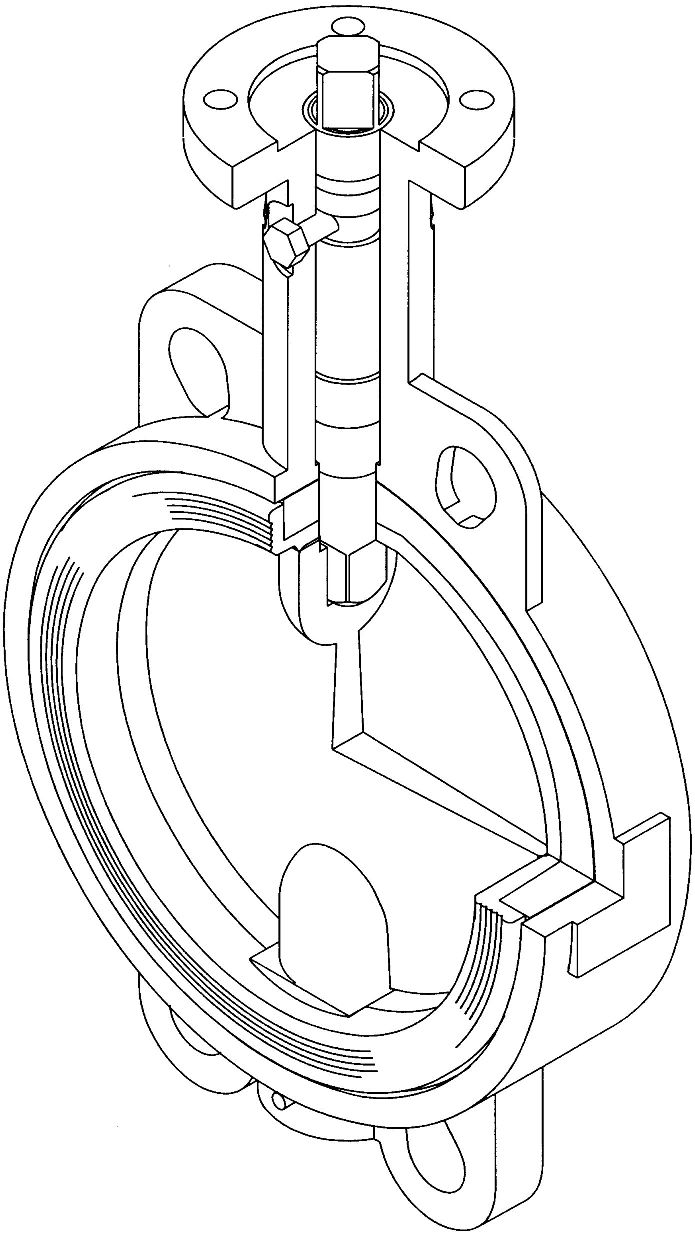

Abb.2.2. Schnitt durch eine zusammengebaute Klappe.

Je nach Stellung der Klappenscheibe wird die Strömung durch die Absperrklappe freigegeben, oder abgesperrt.
In dieser Bauweise werden Armaturen in den Nennweiten von 15 mm bis 2000 mm gebaut. Im wesentlichen werden alle auf dem Markt angebotenen weichdichtenden Klappen nach diesem Konstruktionsprinzip gebaut. Allein in Deutschland werden mindestens 30 Fabrikate einer solchen Klappe angeboten.

Das Drehmoment, welches notwendig ist, die Klappenscheibe aus, oder in den Elastomer zu schwenken, bestimmt die Größe des notwendigen Antriebs. Je nach Version des Antriebs kann dieser den vielfachen Wert der betätigten Klappe erreichen. Hinzu kommt, daß die Herstellkosten für einen z.B. elektrischen Antrieb stark progressiv mit dem Drehmoment steigen, es kann mitunter ein Drehmomentsprung von 15% eine Preissteigerung des Antriebs von 100% bewirken.

Es ist also von entscheidender Bedeutung, Klappen mit möglichst geringem Drehmoment zu bauen, denn letztendlich ist entscheidend, welcher Aufwand betrieben werden muß, um das Gesamtpaket "angetriebene Klappe", **Abb.2.3,** herzustellen und zu betreiben.

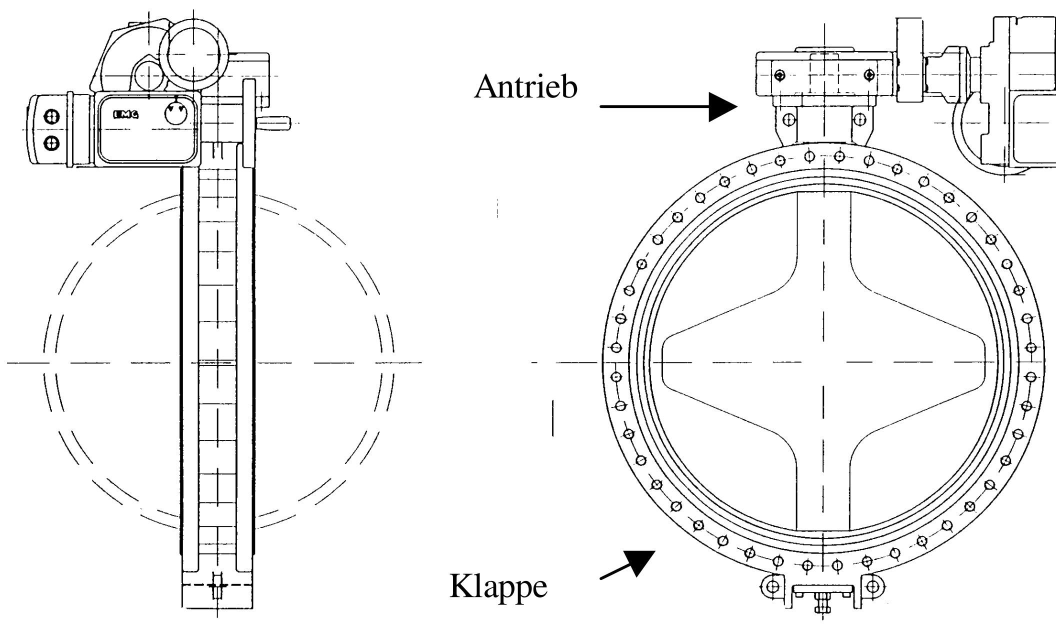

Abb.2.3. Klappe mit einem elektrischen Antrieb.

Ganz nebenbei erreicht man auch Energieeinsparungen: Klappenantriebe erreichen nicht selten mehrere zehn Kilowatt Leistung. Ebenfalls sollte es möglich sein, durch ein optimiertes Drehmoment der Klappe einen optimierten Verschleiß der Klappe zu erreichen. Ziel muß es folglich sein, konstruktive Maßnahmen herauszuarbeiten, mit denen es möglich ist, das Antriebsdrehmoment einer Klappe zu minimieren.

2.2 Forderungen für diese Arbeit

Wie bereits dargelegt, kann das Drehmoment einer solchen Armatur nur vermindert werden, wenn die Reibung zwischen dem Elastomer und der Metallscheibe verringert werden kann.

Es gibt viele Arbeiten [3,4,5], die sich mit Bauteilen beschäftigen, bei denen vor allem das Reibverhalten Metall/Metall oder Metall/Schmierstoff/Metall untersucht wird, bis hin zu

Verschleißuntersuchungen. Daneben gibt es einige Arbeiten [6,7,8,9], in denen auch Elastomerbauteile untersucht werden, doch sind das meist nur Bauteile, die sehr einfachen Belastungszuständen ausgesetzt werden, wie einfache Elastomerproben oder O-Ringe. Für die Reibpaarung Elastomer/Stahl bzw. die spezielle Anwendung der Klappen sind jedoch keine veröffentlichten Untersuchungen bekannt.

Die triviale Lösung wäre gegeben, wenn es zwischen der Metallscheibe und dem Elastomer keine Überdeckung geben würde. Diese Armatur hätte praktisch kein Drehmoment, sie würde aber keine Dichtigkeit erreichen. Eine solche Armatur hätte damit ihre wichtigste Funktion eingebüßt. Dieses Beispiel zeigt, daß Forderungen gestellt werden müssen, die bei einer Drehmomentminimierung einzuhalten sind:

- die Dichtigkeitswerte der Armatur dürfen durch die Drehmomentoptimierung nicht verändert werden.
- die Herstellkosten der Armatur dürfen nicht, oder nur marginal verändert werden
- der Elastomer darf nicht in seinen chemischen Eigenschaften verändert werden
- der Verschleiß der Armatur sollte nicht erhöht werden

Ziel muß es also sein, das Optimum zwischen einem möglichst kleinen Drehmoment zu finden und der kleinsten geforderten Dichtigkeit, ohne die chemische Zusammensetzung des Elastomers, ohne den Verschleiß und ohne die Herstellkosten der Armatur zu verändern. Um die generelle Realisierbarkeit dieser Forderungen zu untersuchen, ist es notwendig, in einem ersten Schritt eine experimentell gestützte Machbarkeitsstudie durchzuführen. Diese kann, wie im folgenden gezeigt wird, mit einem relativ geringen Aufwand, d.h., einem relativ einfachen Versuchsaufbau, geschehen.

2.3 Machbarkeitsstudie an Komplettklappen

An Klappen aus der Serienfertigung wurde lediglich ein Bauteil variiert: die Klappenscheibe. Die zu untersuchenden Scheiben besitzen identische Außendurchmesser (200mm +/-0,01mm). Lediglich die Außenkontur der Scheibe weist unterschiedliche Ausführungen auf (**Abb. 2.4**).

Scheibe	Radius	Flaeche
1	0,4	
2	0,9	
3	1,5	
4	2,5	
5	3,5	
6		0,9
7		1,3
8		2,2

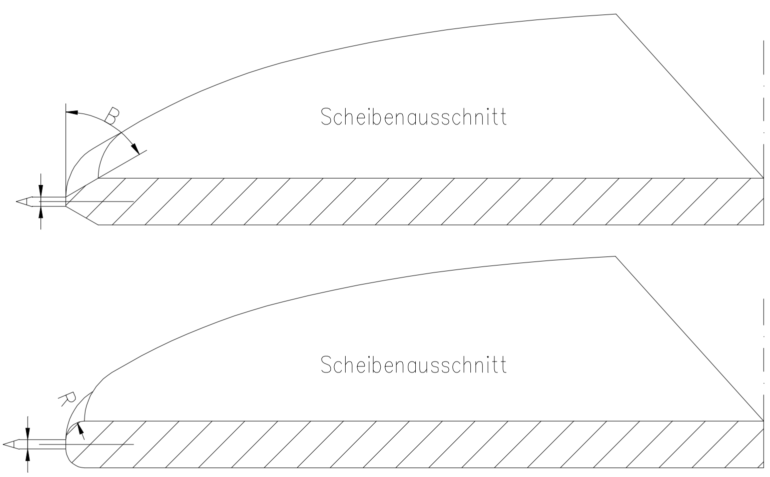

Abb. 2.4 Scheibenkonturen der Machbarkeitsstudie

Insgesamt 8 Klappen der Nennweite 200mm wurden mit Scheiben mit verschiedenen Scheibenaußenkonturen aufgebaut. Um den Einfluß aller anderen Faktoren, außer der Kontur der Klappenscheibe auszuschließen, war es notwendig, jede Klappenscheibe mit jedem Gehäuse zu testen.

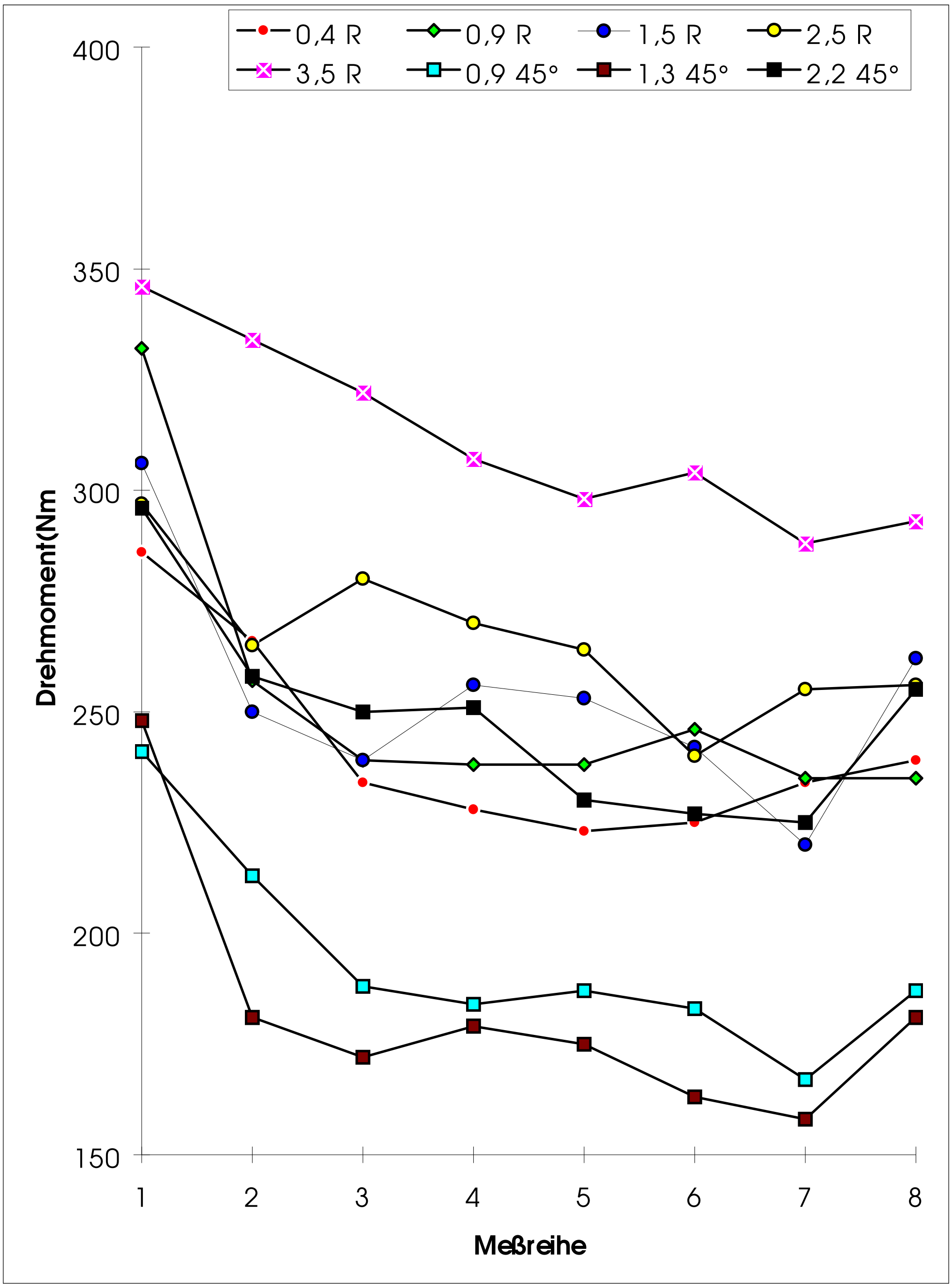

Abb.2.5 Drehmomentmessung an Absperrklappen aus der Serienfertigung.

Jede Scheibe wurde in jedem Gehäuse zehnmal durch den Elastomerring gedreht und unter Vernachlässigung des jeweils größten und kleinsten Meßwertes wurde der Mittelwert gebildet. Bei jeder Messung wurde derselbe Antrieb benutzt, der bei weitem zu groß ausgelegt war, um sicherzustellen, daß die Schließzeiten bei jeder Klappe gleich waren.

Um den Einfluß von Schmiermitteln auszuschliessen, wurden die Elastomerringe mit Azeton von eventuellen Fettresten gesäubert, gleiches gilt für die Klappenscheiben.

Die Drehmomentmessung wurde mittels eines Drehmomentaufnehmers mit DMS vorgenommen, der zwischen der Klappenwelle und der Antriebswelle des Antriebs eingebaut war. Eine Kupplung zwischen dem Drehmomentaufnehmer und dem Antrieb sorgte dafür, daß eventuelle Koaxialitätsfehler den Meßwert nicht verfälscht haben.
Die Armaturen waren während der Messung drucklos und trocken, die Messung wurde bei Raumtemperatur durchgeführt.
Bei diesem Versuch wurde festgestellt, (Meßkurve:**Abb.2.5**), daß lediglich die Außenkontur der Klappenscheibe, bei **identischem** Außendurchmesser eine Änderung des Drehmomentes von bis zu 100% bewirken kann.
Besonders zu bemerken ist hier, daß bei heutiger CNC - Fertigung, die Außenkontur gar keinen Einfluß auf den Aufwand der Herstellung hat. Allein die Möglichkeit, zu ermitteln, welche Faktoren in welchem Maße die Drehmomente und die Dichtigkeit verändern, würde die Serienfertigung bedeutend erleichtern. Die Tatsache, daß die Streuung der Drehmomente bei der Serienfertigung bei +/-50% vom Nennwert liegt, zeigt, welche Schwierigkeiten die Hersteller haben.

In einer abschließenden Dichtigkeitsprüfung (**Abb.2.6**), mit der letzten Kombination der Scheiben / Gehäuse konnte gezeigt werden, daß mit Ausnahme einer Armatur, alle Armaturen die geforderte Dichtigkeit von 16 bar erreicht haben. Die Begrenzung auf max. 25 bar war durch den Prüfstand gegeben.
Es sei anzumerken, daß die Dichtigkeitsmessungen bestenfalls qualitative Aussagen erlauben. Interessanterweise war die Scheibe mit dem größten Drehmoment auch die, die den geringsten Dichtigkeitswert erreicht hatte.

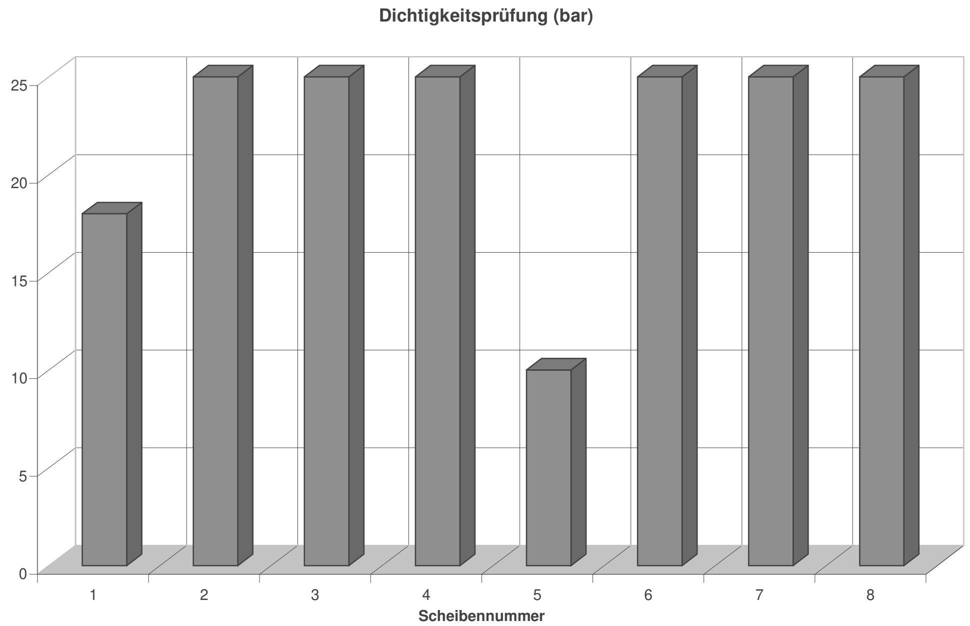

Abb.2.6 Dichtigkeitsprüfung an Klappen aus der Serienfertigung.

Bereits in diesem Stadium wurden Verschleißuntersuchungen durchgeführt. Mit jeder Klappenscheibe wurden jeweils zwei Klappen gebaut und einem Dauerlauf unterzogen[10].

Es wurden dabei pneumatische Antriebe auf die Klappen aufgebaut. Die Dauerläufe erfolgten drucklos, trocken und bei Raumtemperatur. Es läßt sich aus diesen Untersuchungen lediglich die qualitative Aussage treffen, daß der Verschleiß kaum von der Scheibenaußenkante abhängt. Alle untersuchten Klappen erreichten Schaltspielzahlen zwischen 60.000 und 85.000 Schaltungen, wobei sich keine klare Aussage treffen läßt, welche der Klappenkonturen für den Verschleiß die günstigste wäre.
Die Schaltspielzahlen stellen sehr gute Werte für diese Art von Armaturen dar. Der Verschleiß an den Armaturen wurde auf die Weise ermittelt, daß alle 5.000 Schaltungen eine Dichtigkeitsprüfung mit dem Nenndruck (16 bar) stattfand.
Die prinzipielle Machbarkeit der Drehmomentminimierung, ohne die Dichtigkeit zu beeinträchtigen, ist mit diesem Versuch eindeutig belegt.

Weil die Prüfung des Drehmomentes an Klappen aus der Serie von sehr vielen Faktoren beeinflußt wird und gleichzeitig sehr aufwendig ist, sollen Wege gefunden werden, das Drehmoment in Abhängigkeit jeweils eines einzelnen Faktors zu untersuchen. Desweiteren müssen die einzelnen Faktoren festgelegt werden, auf die sich diese Untersuchungen konzentrieren sollen.