

Prof. Dr. h.c. Viktor Dulger (Hrsg.)

RICHTIG DOSIEREN

FLÜSSIGKEITEN DOSIEREN, MESSEN, REGELN

Ein Praxishandbuch



Prof. Dr. h.c. Viktor Dulger (Hrsg.)

RICHTIG DOSIEREN

**Flüssigkeiten dosieren,
messen, regeln**

Ein Praxishandbuch

Dr.-Ing. Rainer Dulger
mit dem Autoren-Team:
Dipl.-Ing. Christian Arnold
Dipl.-Ing. Bernd Freissler
Dipl.-Ing. Horst Fritsch
Dr. Klaus Fuchs
Michael Rummer

Bild und Grafik:
Harry Spatschek

Layout und Gestaltung:
Marcus Spatschek (mar|s design + services)

Inhaltsverzeichnis

Vorwort

1

Teil I: Grundlagen, Konstruktionen

1	Der Verfahrensschritt Dosieren	3
2	Definition und Arbeitsweise von Dosierpumpen	5
3	Einflussgrößen auf den Dosierstrom	7
3.1	Die Dosierstrom-Gleichung	7
3.2	Dosierstrom-Kennlinien	8
4	Konstruktionsprinzipien	9
4.1	Antriebseinheiten	10
4.1.1	Elektromagnetischer Linearantrieb	11
4.1.2	Dosierpumpen mit Motorantrieb	12
4.2	Fördereinheiten (Pumpenköpfe)	18
4.2.1	Kolbenköpfe	18
4.2.2	Membranköpfe mit mechanisch angetriebener Membran	18
4.2.3	Membranköpfe mit hydraulisch angetriebener Membran	20
4.2.4	Funktionsbestimmende Bauelemente der Pumpenköpfe .	22
4.3	Steuereinheiten	29
4.4	Baureihen-Konzepte	30
4.4.1	Einfach-Dosierpumpen	30
4.4.2	Modular-Dosierpumpen	30
4.4.3	Kompakt-Dosierpumpen	32

5	Leistungsbereich und Förderverhalten	33
5.1	Leistungsübersicht	33
5.2	Fördercharakteristik	34
5.2.1	Dosierpumpen mit Motorantrieb	34
5.2.2	Dosierpumpen mit Magnetantrieb	38
5.3	Erforderliche Antriebsleistung (Motorleistung)	39
6	Marktgängige Konstruktionen	41
6.1	Magnet-Dosierpumpen	43
6.1.1	Dosierpumpen mit elektromagnetischem Linearantrieb und einstellbarer Hublänge und Hubfrequenz	43
6.1.2	Geregelter elektromagnetischer Linearantrieb	45
6.2	Dosierpumpen mit Schrittmotor-Antrieb	47
6.3	Dosier- und Prozesspumpen mit Drehstrommotor-Antrieb	48
6.3.1	Drehstrommotor mit Vektorregelung	49
6.4	Dosierpumpen-Triebwerke	52
6.4.1	Federnocken-Triebwerke	52
6.4.2	Kurbeltriebwerke	55
6.5	Pumpenköpfe (Fördereinheiten)	62
6.5.1	Kolbenköpfe mit selbsttätigen Ventilen	62
6.5.2	Ventillose Steuerkolbenköpfe	64
6.5.3	Membranköpfe mit mechanisch angetriebener Membran	68
6.5.4	Membranköpfe mit hydraulisch angetriebener PTFE-Membran/Metall-Membran	70
7	Wirkungsgrade, Energieverbrauch, Gesamtkosten	82
7.1	Volumetrischer Wirkungsgrad	83
7.2	Energetischer Wirkungsgrad	85
7.3	Energieeffizienz verschiedener Pumpen im Vergleich	87
7.4	Spitzenreiter im Energiesparen: Die ZENTRIPLEX-Membranpumpe	90
7.5	Lebenszykluskosten	93

8	Zusammenspiel von Dosierpumpe und Rohrleitungssystem	94
8.1	Hydraulische Druckschwingungen in der Anlage	96
8.1.1	Dosierpumpen mit Motorantrieb und mechanischem Triebwerk	100
8.1.2	Dosierpumpen mit Magnetantrieb	102
8.2	Druckstöße	102
8.3	Überprüfen der Betriebskriterien	104
8.4	Pulsationsdämpfung	106
8.4.1	Berechnung der Pulsationsdämpfergröße V_0	109
8.4.2	Dämpfung der Förderstrompulsation	109
8.4.3	Dämpfung von Druckstößen	111
8.4.4	Bauarten und Wirkungsweise von Pulsationsdämpfern	111
8.5	Kavitation im Arbeitsraum von Dosierpumpen	113
8.6	NPSH und NPIP	122
8.6.1	Der NPSH-Wert	122
8.6.2	Der NPIP-Wert	123
8.7	Rohrleitungsauslegung (Rechenbeispiele)	125

Teil II: Praktische Anwendung

9	Anwendungsbereich von Dosierpumpen	129
9.1	Dosierbare Stoffe	130
9.2	Auswahl der richtigen Dosierpumpe	131
10	Einflüsse der Fluideigenschaften auf den Dosiervorgang	135
10.1	Dichte	135
10.2	Viskosität	135
10.3	Feststoffanteile	137

11 Einbindung der Dosierpumpe in den Gesamtprozess	140
11.1 Betriebsarten	140
11.1.1 Dosierpumpen im Steuerbetrieb	140
11.1.2 Dosierpumpen mit Dosierstromüberwachung	141
11.1.3 Dosierpumpen im geschlossenen Regelkreis	141
11.2 Hydraulische Installation	143
11.3 Mess- und regelungstechnische Einbindung	144
11.3.1 Prozess-Umfeld	144
11.3.2 Signale für Dosierpumpen	145
11.3.3 Direkte Signalanbindung mit Mikroprozessorsteuerung bei Magnet- und Motordosierpumpen	146
11.3.4 Signalanbindung speziell bei Motordosierpumpen	150
11.3.5 Weitere Signalverarbeitung in der Dosierpumpe	155
11.4 Zu beachtende Vorschriften und Verordnungen	159
12 Dosierverfahren, Dosierarten	160
12.1 Kontinuierliche Dosierung	160
12.2 Chargendosierung	160
12.2.1 Dosierpumpe mit integrierter Mikroprozessorsteuerung .	161
12.2.2 Dosierpumpen ohne integrierte Steuerung	161
12.3 Mengenproportionale Dosierung	162
12.3.1 Mengenproportionale Dosierung ohne Dosierstrom- erfassung, aber mit Kontrollmessung	162
12.3.2 Mengenproportionale Dosierung mit Dosierstrom- messung und Kontrollmessung	164
12.4 Bedarfsabhängige Dosierung	165
12.4.1 Manuelle Bedienung / Steuerung	165
12.4.2 Manuelle Regelung	166
12.4.3 Geschlossener Regelkreis	167
12.4.4 Messwertabhängige Dosierung	173

13	Installationsempfehlungen	175
13.1	Dosieren in eine Rohrleitung unter konstantem Druck	175
13.2	Schutz vor Überdruck in der Dosierleitung	176
13.3	Dosieren bei schwankendem oder wechselndem Gegendruck	178
13.4	Dosieren mit Dosierstrommessung	179
13.5	Dosieren bei freiem Auslauf (in einen Behälter, in ein Becken usw.)	182
13.6	Saugseitiger Vordruck	183
13.7	Ungünstiger Verlauf der Saugleitung und/oder ausgasendes Fluid	186
13.8	Installationsempfehlung für erleichtertes Ansaugen	188
13.8.1	Ansaugen aus einem Behälter nach oben	188
13.8.2	Dosieren mit langer Ansaugleitung	189
13.9	Pulsationsdämpfung	190
13.9.1	Membrandämpfer (Blasendämpfer)	191
13.9.2	Windkessel	191
13.9.3	Wie wird ein Pulsationsdämpfer korrekt installiert?	192
13.10	Dosieren von Suspensionen und Emulsionen	194
13.11	Dosieren viskoser Fluide	198
14	Applikationen (Anwendungsbeispiele)	203
14.1	Typische Anwendungsbereiche von Dosiereinrichtungen (Auswahl)	204
14.2	Applikationsbeispiele	206
14.2.1	Desinfektion von öffentlichem Trinkwasser mit Natriumhypochlorit	207
14.2.2	Verdünnung von Natriumhypochlorit	210
14.2.3	Flockungsmitteldosierung in Schwimmbad- Wasserkreisläufen	212
14.2.4	Biozidbehandlung von Kühlwassersystemen	214
14.2.5	Dosierung von Hilfsstoffen zur Mostentschleimung	216
14.2.6	Dosierung von viskosen Hilfsstoffen	218

14.2.7	Reinigungsbadbehandlung mittels einer Ansetz- und Dosierstation	220
14.2.8	Dosierung von Schleifzusätzen in Gleitschleifanlagen .	222
14.2.9	Dosierung von pH-Stabilisierungsmitteln in einer geschlossenen PER-Reinigungsanlage	224
14.2.10	Manometerbefüllung mit Glycerin	226
14.2.11	Dosierung von Additiven zur Speisewasser- aufbereitung im Kraftwerk	228
14.2.12	Treibmitteldosierung bei der Herstellung von PUR-Hartschäumen	230
14.2.13	Glykoldosierung in Erdgasspeicheranlagen	232
14.2.14	Dosierung von Methanol auf FPSO-Schiffen	234
Glossar		236
Verwendete Symbole in Bildern		238
Quellenverzeichnis		239

Vorwort



Prof. Dr. h.c. Viktor Dulger

Seit 55 Jahren stellt die Firma ProMinent in Heidelberg Dosierpumpen und die dazugehörige Mess- und Regeltechnik her. Das Wissen über die häufigsten Anwendungen wurde in diesem Buch von einem Redaktions-Team zusammengefasst. Dieses Buch soll sowohl Grundlagenwissen als auch Anwendungs-Know-how vermitteln. Es entstand zum Jubiläumsjahr 2015 anlässlich des 80. Geburtstags des Firmengründers der ProMinent Firmengruppe, Professor Dr. Viktor Dulger, dem dieses Buch gewidmet ist.

Heidelberg, im Dezember 2015

Dr.-Ing. Rainer Dulger
mit dem Autoren-Team:
Dipl.-Ing. Christian Arnold
Dipl.-Ing. Bernd Freissler
Dipl.-Ing. Horst Fritsch
Dr. Klaus Fuchs
Michael Rummer

Zur Förderung (und Druckerhöhung) von Flüssigkeiten ist prinzipiell jede Pumpe geeignet. Für Dosierzwecke am besten bewährt haben sich Bauarten, deren Förderstrom von Veränderungen der Prozessparameter, wie z.B. Druck- oder Temperaturschwankungen, am wenigsten beeinflusst wird.

Bild 1.2 zeigt beispielhaft die Abhängigkeit des Förderstromes Q vom Förderdruck p und der Viskosität des Förderfluids (Letztere ist temperaturabhängig) für verschiedene Pumpenbauarten.

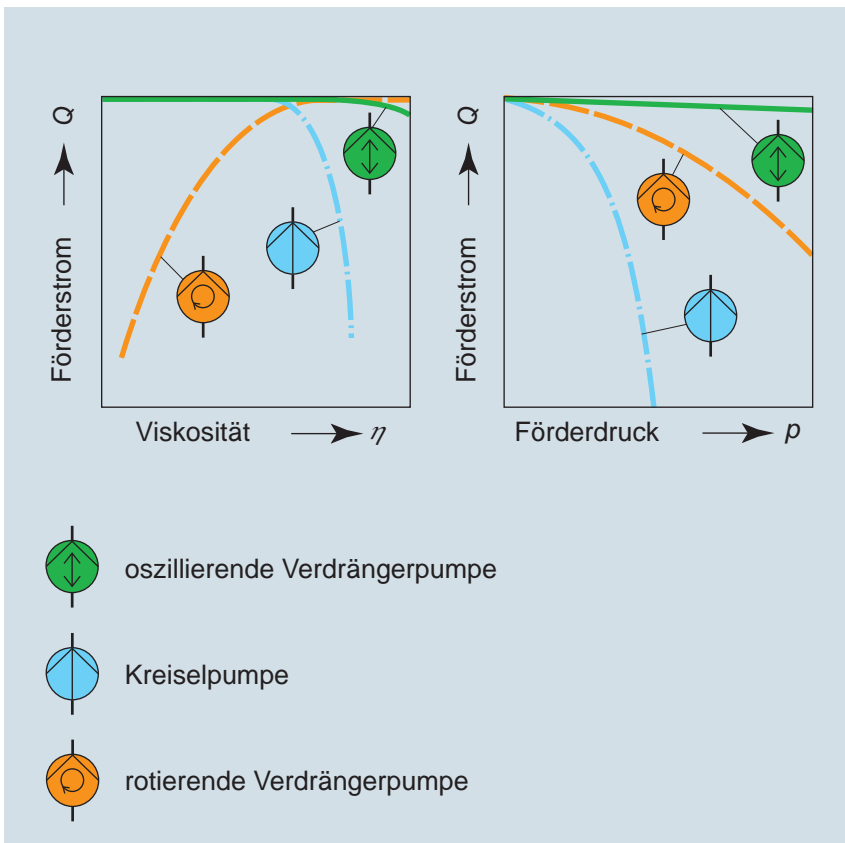


Bild 1.2: Abhängigkeit des Förderstromes Q vom Förderdruck p und der Viskosität η des Förderfluids

2 Definition und Arbeitsweise von Dosierpumpen

Wie man aus Bild 1.2 erkennt, ist der Einfluss von Schwankungen der Prozessparameter auf den Förderstrom bei der oszillierenden Verdrängerpumpe am geringsten. Deshalb und auch aufgrund ihres Wirkungsprinzips ist sie – ergänzt durch einige Zusatzfunktionen – für Dosieraufgaben besonders geeignet.

- Sie fördert und erhöht dabei das Druckniveau wie jede andere Pumpe auch.
- Sie misst ab durch wiederholtes Verdrängen eines vorgegebenen Hubvolumens (Messbecher-Prinzip).
- Ihr Förderstrom ist einstellbar durch stufenloses Verändern der Hublänge bzw. des Hubvolumens oder der Hubfrequenz.

Die mit diesen Eigenschaften ausgestattete oszillierende Verdrängerpumpe bezeichnet man als Dosierpumpe (Bild 2.1).

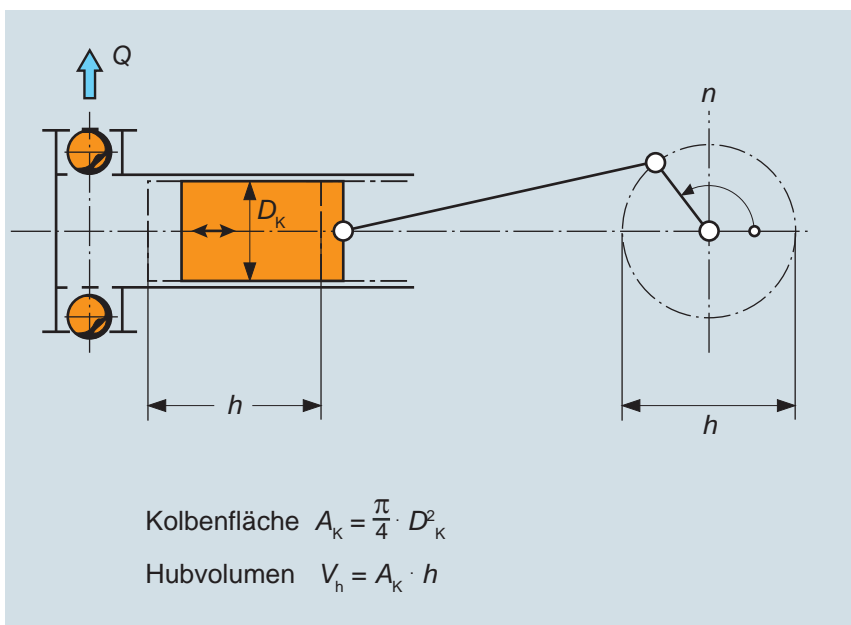


Bild 2.1: Dosierpumpe (oszillierende Verdrängerpumpe mit einstellbarer Hublänge h und/oder Hubfrequenz n)

Zwischen den Stellgrößen (Hublänge h und Hubfrequenz n) und dem Dosierstrom Q besteht bei den meisten Dosierpumpen lineare Abhängigkeit. Sie sind deshalb problemlos in automatisierte Prozesse integrierbar.

Abgesehen von einigen Sonderausführungen, wovon eine in Abschnitt 6.5 vorgestellt wird, sind Dosierpumpen mit selbsttätigen Ventilen ausgestattet, die durch den Druckwechsel im Pumpenarbeitsraum gesteuert werden. Bild 2.2 erläutert das Arbeitsprinzip der klassischen Dosierpumpe.

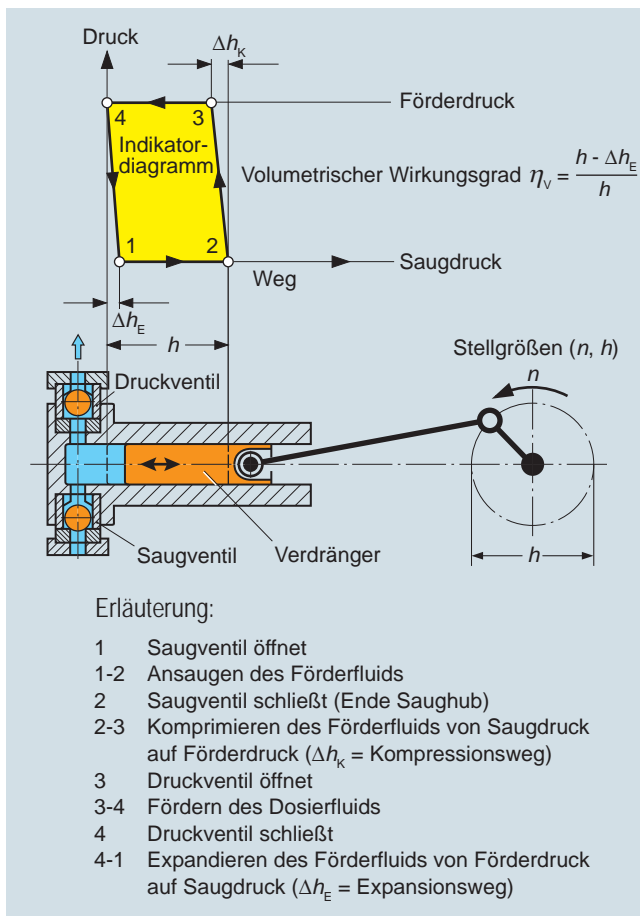


Bild 2.2: Arbeitsweise der Dosierpumpe

3 Einflussgrößen auf den Dosierstrom

3.1 Die Dosierstrom-Gleichung

Dosierpumpen haben in der Regel einen pulsierenden Förderstrom $Q(t)$, (Bild 3.1). Als Dosierstrom Q bezeichnet man üblicherweise den zeitlichen Mittelwert, der sich aus der pulsierenden Fördercharakteristik der Pumpe ergibt.

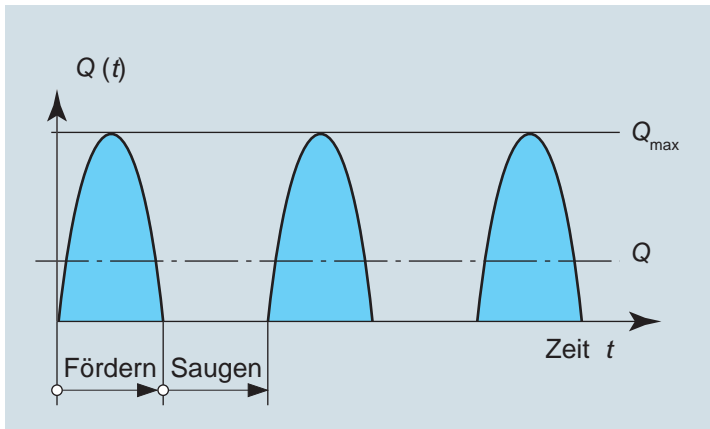


Bild 3.1: Förderstrom $Q(t)$ und Dosierstrom Q einer Einfach-Dosierpumpe

Der theoretisch mögliche Volumenstrom (Q_{th}) einer Dosierpumpe ist das Produkt aus Hubvolumen (V_h) und Hubfrequenz (n).

$$Q_{th} = V_h \cdot n = A_K \cdot h \cdot n \quad (\text{Gl. 3.1})$$

Für Mehrfachpumpen gilt:

$$Q_{th} = V_h \cdot n \cdot i = A_K \cdot h \cdot n \cdot i \quad (\text{Gl. 3.1a})$$

A_K Kolbenfläche, h Hublänge, i Anzahl der Pumpenzylinder

Die Elastizität der Förderflüssigkeit und des Pumpenarbeitsraumes bewirkt, dass der effektive Dosierstrom (Q) kleiner ist als der theoretische. Berücksichtigt wird dies durch den volumetrischen Wirkungsgrad (η_v).

$$Q = Q_{th} \cdot \eta_v = A_K \cdot h \cdot n \cdot i \cdot \eta_v \quad (\text{Gl. 3.2})$$

Leider lässt sich der hauptsächlich vom Förderdruck beeinflusste Wirkungsgrad η_v nur in wenigen Fällen exakt bestimmen. Auf die zahlreichen Einflussparameter, von denen er abhängt, wird in Abschnitt 7.1 noch eingegangen.

3.2 Dosierstrom-Kennlinien

Nach Gleichung 3.2 wird der Dosierstrom Q im Wesentlichen beeinflusst von der Hublänge h , von der Hubfrequenz n und vom volumetrischen Wirkungsgrad η_v , wobei η_v hauptsächlich vom Förderdruck p und der Elastizität der Förderflüssigkeit sowie des Pumpenarbeitsraumes abhängt (Näheres hierzu siehe Abschnitt 7.1). Für einen konkreten Anwendungsfall (Bauart der Dosierpumpe und Förderfluid sind bekannt) wird η_v nur noch vom Förderdruck p bestimmt. Man erhält so die in Bild 3.2 dargestellten Kennlinien $Q(p)$, $Q(h)$ und $Q(n)$.

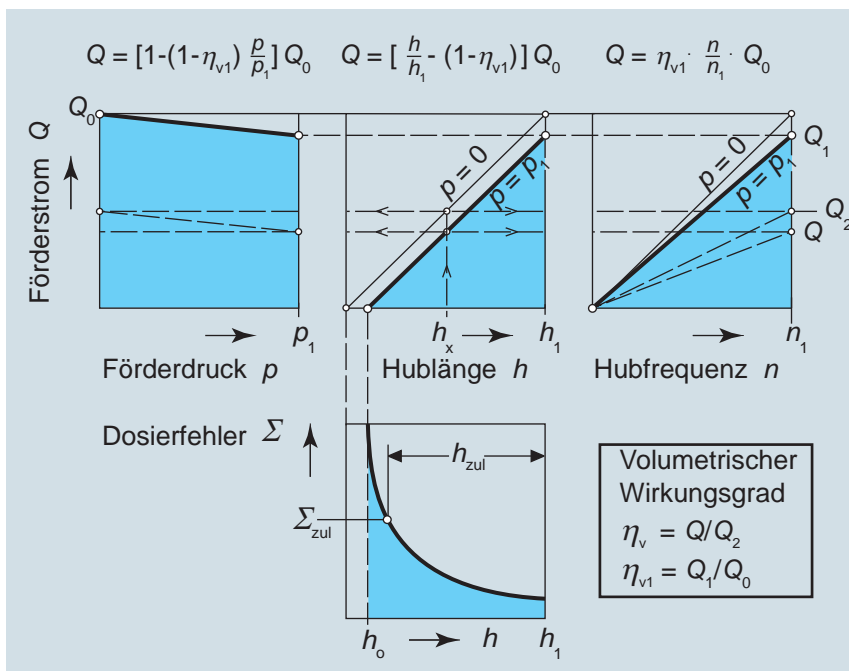


Bild 3.2: Dosierpumpen-Kennlinien (Q_0 Förderstrom bei $p \approx 0$, $h = h_p$, $n = n_p$; Q_1 Förderstrom bei $p = p_p$, $h = h_p$, $n = n_p$; Q_2 Förderstrom bei $p = p_p$, $h = h_x$, $n = n_p$)

Wie aus Bild 3.2 hervorgeht, darf für die Einstellung des Dosierstromes nicht die gesamte Hublänge als Stellgröße genutzt werden, sondern nur der Teil (h_{zul}), bei dem der maximal zulässige Dosierfehler (Σ_{zul}) nicht überschritten wird.

Erfahrungsgemäß gilt:

$$h_{zul} \approx 0,9 \cdot (h_1 - h_0) \quad (\text{Gl. 3.3})$$

Wie man die Grenzhublänge h_0 ermittelt, wird in Abschnitt 7.1 erläutert. Ein Dosierfehler kommt zustande durch zufällige Schwankungen einzelner Betriebsparameter, wie z.B. Druck- oder Temperaturschwankungen. Sind diese bekannt oder abschätzbar, kann man den maximalen Gesamtfehler mittels mathematischer Gesetzmäßigkeiten bestimmen [1]. Abhängig von der Pumpenbauart lässt sich der Dosierfehler auf Werte zwischen $\pm 0,5$ und $\pm 2\%$ begrenzen.