

3.3 Dauerhaft korrosions- und verschleißfrei regeln und dosieren

- Heinz Albert
Cera System Verschleißschutz GmbH
Hermsdorf

Die Folien finden Sie ab Seite 262.

Inhalt

- 3.3.1. Einleitung
- 3.3.2. Kontinuierliche und getaktete Regelung
- 3.3.3. Problemfälle in der Regelung
- 3.3.4. Probleme beim Regeln und Dosieren schleißender Medien
- 3.3.5. Keramikwerkstoffe für Regel- und Dosiergeräte
- 3.3.6. Keramische Regel- und Dosiergeräte für schleißende Medien und Mehrphasenströmungen
 - 3.3.6.1. Kugelhähne
 - 3.3.6.2. Scheibenschieber
 - 3.3.6.3. Zellenradschleusen
 - 3.3.6.4. Doppelkugelhahnschleusen
- 3.3.7. Regeln und Dosieren bei gleichzeitiger Druckentspannung
- 3.3.8. Tribologische Fragen
- 3.3.9. Zusammenfassung

3.3.1. Einleitung

Was ist Steuern und was ist Regeln?

Die Beeinflussung eines Prozesse ohne eine bestimmte Vorgabe ist „Steuern“. Die Beeinflussung eines Prozesses so, dass ein bestimmter Parameter (Führungsgröße) eingehalten wird, ist „Regeln“. Das ist zumindest in der deutschen Sprache so.

Jetzt könnte ich Ihnen einen Vortrag über die Wirren der Begriffe in der Regelungstechnik und im Armaturenbau im speziellen halten, ohne überhaupt etwas zum eigentlichen Thema zu sagen.

Oft werden Begriffe aus dem englischen verwendet oder übersetzt, die zum Schmunzeln anregen oder auch zusätzlich Verwirrung hineinbringen.

Ein typisches Beispiel ist „butterflyvalve“.

Das ist im deutschen eine Klappe, wird aber inzwischen schon oft als „Schmetterlingsventil“ bezeichnet.

Im Bereich der Regelungstechnik und speziell der Armaturentechnik gibt es viele Begriffe, die synonym verwendet werden können oder auch Feinheiten darstellen und immer wieder, auch von Fachleuten, falsch eingesetzt werden. Ein ganz bekanntes Beispiel ist der uns allen bekannte Wasserhahn, der eigentlich ein Ventil ist. Im Laufe des Vortrages werde ich noch einige Beispiel bringen.



Bild 1: Keramische Klappe DN 100

Vortragsblock 2

Nun will ich aber mit der Polemik aufhören und zur Sache kommen. Geregelt und Dosiert wird heute fast überall und in allen Bereichen. Hinter vielen solchen Aufgaben steht eine Regelung einer Strömung. Man will z. B. eine Temperatur regeln und regelt tatsächlich den Durchfluss einer Kühlflüssigkeit.

Man will den Geschmack eines Joghurts „regeln“ und regelt den Durchfluss der einzelnen Komponenten z. B. der Geschmacksstoffe. Das heißt, die Durchflussregelung ist eine der wichtigsten und grundlegendsten Regelungsarten überhaupt. Deshalb konzentriere ich mich in meinem Vortrag auf die Durchflussregelung und die Mengendosierung.

Für die Regelung von Durchfluss und Mengen wiederum gibt es eine Vielzahl verschiedener Regelorgane werden daher vorrangig nur die Bauarten beleuchtet, die sich effektiv mit Keramikkomponenten realisieren lassen.



Bild 2: Regelschieber mit Kemmererantrieb



Bild 3: Regelkugelhahn mit bar - Antrieb

3.3.2. Kontinuierliche und getaktet Regelung

Einfluss auf den Durchfluss haben solche Parameter wie Querschnitt, Druckdifferenz, die Widerstandswerte wie Oberflächenrauigkeit der Wandungen, Strömungsumlenkungen, Einengungen oder Erweiterungen, sowie einige Mediendaten wie Aggregatzustand, Viskosität, Temperatur und Dichte. Man kann bei einem Schlauch z. B. den Durchfluss verringern, indem man ihn einfach in Schlangenform legt. Der Widerstandsbeiwert erhöht sich durch die vielen Umlenkungen. Der Durchfluss sinkt.

Die Regelung über die Druckdifferenz wird zum Beispiel bei Regel-pumpen über eine veränderbare Drehzahl der Pumpe realisiert.

Die gebräuchlichste Strömungsregelung erfolgt über die Veränderung des freien Querschnittes, d. h. kontinuierlich (stetig, permanent) mit Regelarmaturen.

Im englischen sind das „controlvalves“. Die richtige Übersetzung ist Regelarmatur. Fälschlicherweise wird „Regelventil“ verwendet. Ein Regelventil ist nur eine besondere Art der Regelarmaturen.

Bei kleinen Mengen, besonders bei Gasen, kommt mehr und mehr die Regelung durch eine getaktet Einschaltdauer (gepulst, getaktet, diskret) zur Anwendung.

Vortragsblock 2

Bei allen Regelarmaturen kontinuierliche Art kommt es neben der Querschnittsveränderung zu einer zusätzlichen Ab- bzw. Umlenkung der Strömung. Dies führt einerseits zu Druckverlusten und andererseits zur An- und Ausstrahlung der Gehäuseinnenteile. Die Strömung bleibt aber stetig, ohne Unterbrechungen oder Druckschwankungen. Bei einer getakteten Regelung sind kurzzeitige Unterbrechungen zwangsläufig, die ausgeglichen oder verkraftet werden müssen. In bestimmten Fällen kann dies durchaus auch ein Vorteil sein.



Bild 4: Regelkugelhähne

Durch die schnelle und vollständige Öffnung der Armatur (bei gepulster Regelung) kommt es in der Regel nur zu geringen zusätzlichen Um- und Ablenkungen der Strömung.

Um die folgenden Fragen zu verstehen, muss man wissen, dass eine Strömung nur in Gang kommt, wenn eine Druckdifferenz vorliegt. Die Strömung erfolgt immer vom hohen Druck zum niedrigeren Druck. Die Regelarmatur ist dabei als Widerstand in einer Reihenschaltung von Widerständen des gesamten Systems zu verstehen.

Die Durchströmungsgeschwindigkeit in einer Armatur ist in einem vorliegenden System dann meistens nur noch Folge der anliegenden Druckdifferenz. In einer Regelarmatur treten daher immer größere Strömungsgeschwindigkeiten als im übrigen System auf. Wenn sich der Öffnungsgrad einer Armatur verändert, ändert sich der Wider-

stand der Armatur. Dies kann in verschiedenen Systemen zu unterschiedlichen Konsequenzen führen.

3.3.3. Problemfälle in der Regelung

Äußerst kritische Problemfälle einer jeden Regelung sind Kavitation, Flashing und ein zu hoher Geräuschpegel.

Kavitation und Flashing sind auch mit Keramik nicht zu verhindern, sondern können nur mit entsprechenden verfahrenstechnischen Schritten minimiert werden. Keramische Auskleidungen alleine können die Folgen von Kavitation und Flashing nur wenig lindern.

Eine Teilung der Strömung mittels Lochblenden oder Leitelemente hingegen kann zur Senkung der Fließgeschwindigkeit und damit zur wesentlichen Senkung der Lärmentwicklung und der Kavitationsneigung führen.

Die Lärmentwicklung hängt übrigens in der achten Potenz von der Fließgeschwindigkeit ab. Dementsprechend klar sind die Möglichkeiten zur Reduzierung der Lärmentwicklung.



Bild 5: Keramische Lochblende

3.3.4. Probleme beim Regeln u. Dosieren schleißender Medien

Müssen Suspensionen, Feststoffgasgemische oder Mehrphasengemische mit Feststoffen geregelt oder dosiert werden, kommt es in konventionellen Regel- und Dosiergeräten zu erheblichem Verschleiß. Ähnliche Erscheinungen können auch bei stark korrosiven Medien auftreten, wenn durch die Anströmung die Korrosionsprozesse beschleunigt werden

Der Einsatz von Ingenieurkeramik in diesen Geräten kann hier Abhilfe schaffen.



Bild 6: Metallische Absperrorgane aus Dosiereinrichtungen

Grundsätzlich gibt es bekanntlich Reib- und Prallverschleiß. Beim Reibverschleiß gleitet das Abrasiv über die Oberfläche und „zerkratzt“ diese. Harte Oberflächen widerstehen dieser Verschleißart besser als weiche. Bei besonders langsamen Bewegungen (Strömungen) und entsprechend „zäher“ Oberfläche können die Partikel auch „abrollen“ ohne einen Verschleiß zu verursachen.

Beim Prallverschleiß „stürzt“ ein Partikel auf eine Oberfläche mit einer entsprechenden kinetischen Energie und „schlägt“ ein Teilchen aus der Oberfläche heraus. Masse und Geschwindigkeit sowie der Aufprallwinkel beeinflussen den Energieeintrag auf die Oberfläche und erhöhen so den Verschleiß. Allerdings wirken sich auch die Härte und die Geometrie des Prallkörpers auf den Verschleiß aus. Elastische Materialien können dieser Belastung z. T. ohne Verschleiß widerstehen.

Hartstoffe wie Keramiken können hier unter bestimmten Umständen stärkeren Verschleiß als Metalle, Kunststoffe oder Elastomere aufweisen.

Vor allem an Stellen, wo mehrere Beanspruchungsarten zusammen fallen, z. B. Abrasion und Korrosion bei höheren Temperaturen und hohem Druck, sind die Ingenieurkeramiken oft die einzigen Werkstoffe, mit denen das Problem zu beherrschen ist.

Bei der Verschleißfestigkeit ist anzumerken, dass die Ingenieurkeramiken gegen Reibverschleiß immer in Potenzen bessere Standzeiten als andere Werkstoffe bringen.

Gegen Strahlverschleiß können Keramiken unter bestimmten Bedingungen, ebenfalls sehr gute, unter anderen aber unbefriedigende Standzeiten haben.



Bild 7: Ausgestrahlter Kegel

In der Praxis treten immer Kombinationen dieser Verschleißarten auf. Die Verhältnisse sind meistens nicht konstant. Die Beurteilung ist entsprechend kompliziert.

Die besten Erfolge beim Einsatz von Keramik erzielt man, wenn die Beanspruchung überwiegend als Reibverschleiß eingeordnet werden kann. Daraus folgt, dass nicht alle Armaturenbauarten in Keramikausführung gleich effektiv sind.

Armaturenarten mit starken inneren Umlenkungen (z. B. Geradsitzventile) oder Armaturen mit im Strom stehenden Regelorganen (z. B. Klappen) haben auch bei Verwendung von Keramik nicht unbedingt bessere Standzeiten.

Bei der Auslegung einer Regelarmatur ist besonders sorgfältig auf die tatsächlich erforderlichen Durchsatzmengen zu achten. Eine zu groß ausgelegte Regelarmatur (bei schließenden Medien) verschleißt viel schneller als eine Armatur, die möglichst weit geöffnet ist. Der aus der Vergangenheit übliche Reservefaktor von 15 bis 50 % sollte bei Keramikarmaturen 15 % nicht übersteigen.

Bei Dosiergeräten sind häufig nicht die großen Strömungsgeschwindigkeiten, sondern die Dichtheit des Dosiergerätes das Hauptproblem. Nicht selten verlieren diese Geräte im Einsatz bei schließenden Medien schon nach kurzer Zeit ihre innere Dichtheit.

Kontinuierliche leichte Leckagen führen selbst bei geringen Drücken zu verheerenden Folgen. Die Auswaschungen an dem Kegel (Bild7)

Vortragsblock 2

einer Doppelkegelventilschleuse treten bei einem kontinuierlich anstehenden Druck von 0,3 bis 0,5 bar auf. Das Medium ist Flugasche bei 190 bis 230 °C.

3.3.5. Werkstoffe

In einer Vielzahl von Anwendungen haben sich die verschiedensten keramischen Materialien bewährt. Moderne Regel- und Dosiergeräte enthalten Bauteile aus verschiedensten Technischen Keramiken. Die am häufigsten eingesetzten sind Werkstoffe aus den Gruppen:

- Al_2O_3 Aluminiumoxid,
- ZrO_2 Zirkonoxid,
- SiC Siliziumkarbid und
- Si_3N_4 Siliziumnitrid.



Bild 8: Al_2O_3 - Teile



Bild 9: ZrO₂ - Teile



Bild 10: SiC - Teile



Bild 11: SSN - Teile

Die heute verfügbaren Ingenieurkeramiken erreichen hohe Festigkeitswerte. Ihre Werte sind vergleichbar mit den Werten von Metallen und übertreffen in der Regel alle Polymere.

Für Spezialanwendungen kommen auch keramische Materialien mit besonderen Eigenschaften, wie z. B. für die Mikroelektronik mit besonderen Reinheitsforderungen, für die Hüttentechnik mit der Notwendigkeit der Heizung bzw. der extremen Wärmeisolation oder für Armaturen für hohe Schaltfrequenzen mit niedrigsten Reibwerten zum Einsatz.

Auch wenn die keramischen Materialien in einigen Parametern, wie z. B. der Korrosions-, in der Temperaturbeständigkeit und Medienverträglichkeit als sehr universell gelten, sind doch genaue Analysen der Belastungen und Kenntnisse über die speziellen Eigenschaften der Keramiken nötig, um den jeweiligen Einsatzfall erfolgreich zu lösen.

Dabei sind allgemein gültige Regeln schwierig, da unter einer Werkstoffbezeichnung eigentlich eine ganze Gruppe von Werkstoffen mit zum Teil erheblich unterschiedlichen Eigenschaften zu finden ist. Es ist deshalb ratsam und erforderlich, sich die Werkstoffdaten detailliert zu betrachten.

Die wichtigste Frage ist bei Armaturen die Frage nach der mechanischen Festigkeit. Unabhängig von der Bauart, muss bei jedem Schaltorgan eine enorme Kraft übertragen werden.

Da die Druckfestigkeit der Ingenieurkeramik das 5- bis 10fache der

Biegefestigkeit beträgt, sind auf Druck belastete Teile meistens unproblematisch und geradezu zur Herstellung aus Keramik prädestiniert.

Die Biegefestigkeit von bestimmten Ingenieurkeramiken, z. B. Siliziumnitrid, ist bei Normalbedingungen vergleichbar mit Stählen und bleibt bei Temperaturen bis 1.000 °C nahezu unverändert, wobei die Biegefestigkeit von Stählen je nach Legierung bereits ab 300 °C abnimmt. Bei Temperaturen über 800 °C sind die Keramiken in der Festigkeit praktisch konkurrenzlos.



Bild 12: Gebrochene Kugeln

Die Zugfestigkeit der Ingenieurkeramiken, die oft weniger als ein Drittel der Biegefestigkeit beträgt, und das Spröbruchverhalten der Keramiken erfordern das Vermeiden oder Minimieren von Zugspannungen bzw. eine möglichst genaue Berücksichtigung der Spannungsverteilung.

Dies setzt voraus, dass die Armaturenbauteile entsprechend „keramikgerecht“ ausgelegt und konstruiert werden. Kugeln, Küken oder Kegel, die unvermeidlich auf Biegung beansprucht werden, sollten deshalb aus ZrO_2 oder Si_3N_4 gefertigt sein.

Schieberbauteile werden kaum auf Biegung oder Zug beansprucht. Diese sind deshalb nahezu aus jeder beliebigen Keramik einsetzbar. Relativ einfach sind die Verhältnisse bei der maximalen zulässigen Einsatztemperatur.

Alle Ingenieurkeramiken sind bis 400 °C absolut problemlos, die meisten aber gar bis

Vortragsblock 2

800 °C bzw. 1.200 °C einsetzbar. Meistens ist es nicht die absolute Temperatur, die Probleme bereiten könnte, sondern die Schockbeständigkeit, d. h. plötzliche Temperaturänderungen können zum Versagen führen.

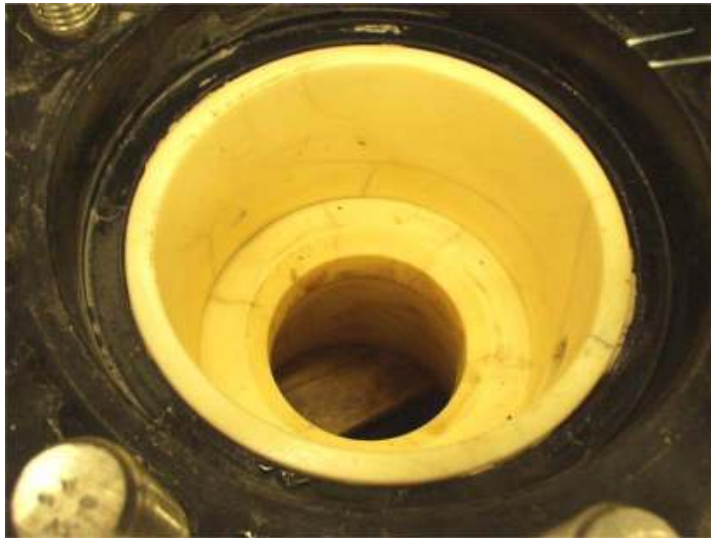


Bild 13: Typische Thermoschockrisse

Dieses wiederum ist nicht nur von dem Werkstoff selbst, sondern dazu noch von der geometrischen Form, vom Herstellungsverfahren und vom Vorhandensein weiterer Belastungsarten außer der Temperatur abhängig. Kugeln bzw. Küken für Hähne sind z. B. für folgenden Thermoschock einsetzbar aus:

- Al_2O_3 bis 50 K,
- ZrO_2 bis 250 K und
- Si_3N_4 bis 350 – 500 K.

Die maximale Einsatztemperatur liegt dagegen für alle drei Werkstoffgruppen bei weit über 1.000 °C.

Für Verschleißschutzhülsen mit einfachen rohrähnlichen Geometrien und Wanddicken von 5 bis 10 mm können wesentlich höhere Thermoschocks zugelassen werden:

- Al_2O_3 bis 120 K,
- ZrO_2 bis 350 K,
- SSIC bis 300 K,
- SISIC bis 500 K und
- Si_3N_4 bis 600 K.

Ein ganz wichtiger Parameter ist die Korrosionsbeständigkeit. Die allgemein gute Korrosionsbeständigkeit gegenüber aggressiven Medien macht technische Keramik geeignet für den Einsatz im Chemieanlagenbau und der Hochtemperaturtechnik (Tabelle 1).

	Oxide		Carbide		Nitride		Silikate		
	Al ₂ O ₃	ZrO ₂	SSiC	SISiC	SSN	HPSN	Steinzeug	Hartporzellan	Steatit
Salzsäure HCl (verd.)	+	-	+	+	+		+	+	+
	(*)			(100°C)	(*)		(*)	(*)	(*)
Salzsäure HCl (konz.)	+	o	+	+	-	+	+	+	+
	(*)		(*)				(*)	(*)	(*)
Salpetersäure HNO ₃ (verd.)	+		+	+	+	+	+	+	+
			(*)	(*)	(*)		(*)	(*)	(*)
Salpetersäure HNO ₃ (konz.)	+	o	+	+			+	+	+
	(*)		(*)	(*)					
Schwefelsäure H ₂ SO ₄ (verd.)	+			+	+		+	+	+
				(100°C)			(*)	(*)	(*)
Schwefelsäure H ₂ SO ₄ (konz.)	+	-	+	+			+	+	+
	(*)	(*)					(*)	(*)	(*)
Phosphorsäure H ₃ PO ₄	+	o	-	+	o	+	80% H ₃ PO ₄	80% H ₃ PO ₄	80% H ₃ PO ₄
	(20°C)	(*)	(250°C)				+	+	+
							(*)	(*)	(*)
Flußsäure HF	-	-	+	+	-	-	-	-	-
		(20°C)							
Natronlauge NaOH-Lsg.	o		+	o	+	+	-	-	-
	(*)			(100°C)			(*)	(*)	(*)
Kalilauge KOH-Lsg.	+	+	+	o	+	+			
	(*)	(*)	(*)	(80°C)	(*)				
Natriumchlorid NaCl	+			+			+	+	+
	(*)			(900°C in Luft)			(*)	(*)	(*)
Kaliumchlorid KCl	+			+			+		
				(900°C in Luft)					
Kupferchlorid CuCl ₂							+	+	+
	(*)								

Legende:

- + beständig (bis zur angegebenen Temperatur)
- Korrosionsangriff (bei angegebener Temperatur)
- (*) kochend
- o es findet eine Reaktion statt

Tabelle 1: Korrosionsbeständigkeit keramischer Werkstoffe im Vergleich

Wegen der Vielzahl der aggressiven Medien und der Menge sehr unterschiedlicher Keramiken gibt es kaum verwendbare Aufstellungen über Medien und ihr Verhalten gegenüber Keramik. Hierzu sollte im

Vortragsblock 2

konkreten Fall der jeweilige Hersteller angesprochen werden. Es empfiehlt sich, im Zweifels- oder Bedarfsfall entsprechende Versuche dem praktischen Einsatz voranzustellen und Konsultationen mit den Fachfirmen zu suchen. Besonders kritisch sind diese Angaben der Beständigkeit im Bereich höherer Temperaturen. Es muss auch immer davon ausgegangen werden, dass Beständigkeiten gegenüber einzelnen Reagenzien nicht gleich bedeuten, dass die Beständigkeit gegenüber dem Gemisch der Reagenzien ebenfalls gegeben ist.

Als besonders kritische Bestandteile von aggressiven Medien sind Wasserdampf und Flusssäure zu betrachten. Die hydrothermale Beständigkeit von Y-stabilisiertem Zirkonoxid ist z. B. besonders schlecht, die von Karbiden und Nitriden kann bis 250°/350°C als gut bezeichnet werden. Al_2O_3 ist in diesem Fall am besten geeignet. Bereits bei geringen Anteilen von Flusssäure versagen alle oxidischen Keramiken mit Ausnahme von hochreinem Aluminiumoxid. Die beste Beständigkeit gegen Flusssäure hat unter den derzeit verfügbaren keramischen Materialien das SSIC.

Einer der wichtigsten Gründe für den Einsatz der Technischen Keramik in Regel- und Dosiergeräten ist deren Härte, die zu günstigem Verschleißwiderstand führt. Als Preis für die Härte besitzen keramische Werkstoffe kein plastisches Formänderungsvermögen (Duktilität) zum Abbau von Spannungsspitzen. Das Bauteil bricht ohne Vorankündigung.

Wegen der überwiegend geringen Wärmeausdehnung der eingesetzten keramischen Materialien verändern die einzelnen keramischen Armaturenkomponenten ihre Form und die Maße bei Einfluss von Temperatur kaum.

Bei keramischen Regel- und Dosiergeräten wird deshalb die Dichtheit auch bei höheren Temperaturen nicht wesentlich schlechter.

Bei Hochtemperaturarmaturen ist meistens eine gute Isolation nach außen notwendig. In diesen Fällen wird versucht, Keramik mit niedrigem Wärmeleitvermögen einzusetzen. Für beheizte Armaturen ist wichtig, dass die Heizenergie schnell auf das Medium übertragen werden kann. Hier kommen Karbide zum Einsatz, die im Wärmeleitvermögen doppelt so gut sind wie Stahl.

Bei Armaturen für den Gaseinsatz oder für galvanische Anlagen wird in bestimmten Fällen elektrische Isolation verlangt. Diese Forderung kann man sowohl mit massiver Ingenieurkeramik wie auch mit keramisch beschichteten Metallteilen erfüllen.

3.3.6. Keramische Regel- und Dosiergeräte für schleißende Medien

Bei Armaturen gibt es eine Reihe verschiedener Konstruktionsprinzipien. Grundsätzlich schließt keine der typischen Bauarten den Einsatz keramischer Komponenten aus. Sie sind allerdings unterschiedlich günstig in der Durchführbarkeit, in den erzielbaren Effekten und im Kostenaufwand.

Dieser Umstand ist vor allem darauf begründet, dass die keramischen Materialien im Reibverschleiß um Potenzen bessere Ergebnisse als Metalle zeigen, im Strahl- oder Prallverschleiß jedoch nicht in gleichem Maße bessere Ergebnisse bringen wie die Kosten steigen.

So sind zu früheren Zeiten Hubventile (Gerad- und Schrägsitzventile) aus Hartporzellan gefertigt worden, jedoch nur für aggressive Medien ohne Feststoffanteile.

Alle Versuche, dieses Konstruktionsprinzip auch für schleißende Medien durch den Einsatz hochwertiger Ingenieurkeramik zu ertüchtigen, sind aus o. g. Gründen fehlgeschlagen. Der Verschleiß (hier vor allem Strahlverschleiß) in den Gehäuseteilen war zu groß.

Es sind vor allem die Konstruktionsprinzipien für keramische Ausführungen prädestiniert, die keine oder geringe Strömungsumlenkungen in der Armatur erzwingen.

Bisher wurden folgende Bauarten mit Erfolg in Keramikbauweise umgesetzt:

- Kükenhähne,
- Drehkegelventile,
- Kugelhähne,
- Scheibenschieber,
- Eckventile,
- Klappen und
- Kugelrückschlagventile.

Kükenhähne in Form von Kegelkükenhähnen waren die ältesten keramischen Armaturen. Auch heute noch werden Kükenhähne, auch mit Ingenieurkeramik-Komponenten, angeboten. Ihr Vorteil liegt in der einfachen Konstruktion. Problematisch ist jedoch, dass die Kükenhähne konstruktiv bedingt relativ hohe Leckagen aufweisen und durch Eindringen von Feststoffen in den Spalt zwischen Kükem und Käfig zum Blockieren neigen.

Vortragsblock 2

Bei Drehkegelventilen besteht die Problematik darin, dass sich der Gehäuseinnenraum wegen der unsymmetrischen Form kaum keramisch schützen lässt. Bei hohen Strömungsgeschwindigkeiten in der Armatur kommt es zu Auswaschungen und Durchstrahlen des Gehäuses.

Der allgemein bekannte große Vorteil des Drehkegelventils – sein enormes Stellverhältnis – kommt bei Suspensionen oft nicht zum Tragen, da sich der geringe Öffnungsspalt im untersten Regelbereich durch Feststoffe zusetzt. In Abhängigkeit vom Feststoffgehalt und der Partikelgröße wird ein mehr oder minder großer Regelbereich praktisch nicht nutzbar.

Eckventile sind vor allem für Entspannungsfunktionen geeignet. Dabei muss gewährleistet sein, dass die durch das Stellorgan freizugebende Fläche wesentlich kleiner ist als die Eingangsfläche und bis zum Stellorgan keine Querschnittsverengungen auftreten. Die Fließgeschwindigkeit bis zur Drosselstelle muss relativ gering sein. Das durch die Drosselstelle tretende Medium sollte möglichst zentrisch ausströmen und den Energieabbau im Medium selbst realisieren. Zu beachten ist, dass die Rohrleitung nach dem Eckventil unbedingt geschützt werden muss, da die Armatur selbst zu kurz ist, um die Turbulenzen abzufangen.

Die Klappe ist die Bauart, in der sich Armaturen für große Nennweiten fertigen lassen, ist doch die Größe massiver Keramikbauteile begrenzt. Die erforderlichen Bauteile sind einfach in ihrer Geometrie und mit vertretbarem Aufwand herzustellen. Meistens sind die Anforderungen an solche Klappen auch verhältnismäßig gutmütig. Bei Klappen ist festzustellen, dass der Verschleiß am Klappenteller relativ hoch ist, weil dieser ständig in der Medienströmung steht.

Beim keramischen Kugelrückschlagventil verblüfft die Einfachheit. Alle Elemente, die klemmen, verkannten oder verschmutzen könnten wie z. B. Federn, Klappen oder Achsen, wurden weggelassen. Eine massive keramische Vollkugel dichtet durch ihr Eigengewicht und der entstehenden Druckdifferenz gegen einen keramischen Sitz. Die Kugel ist das einzige bewegliche Teil in der Armatur. Ein Käfig führt die Kugel und begrenzt deren Weg in Strömungsrichtung.

Die weiteste Verbreitung unter den keramischen Armaturen haben inzwischen die Kugelhähne erfahren.

Dosiergeräte in keramischer Ausführung hat es bisher kaum gegeben. Vereinzelt sind zur Minderung des Verschleißes an und in Dosier-

geräten Keramikkomponenten in Lagern und in Dichtungen sowie keramische Auskleidung eingesetzt worden. Erst mit der Entwicklung gasdichter Keramikarmaturen konnten auch vollkeramische Dosiergeräte entwickelt werden.

3.3.6.1. Keramische Regelkugelhähne

Das Bauprinzip eines Kugelhahnes ist relativ einfach. Die Dichtfunktion zwischen der Kugel und dem Sitz wird entweder durch den Mediendruck selbst bei der schwimmenden Version oder durch Federsysteme in allen anderen Fällen realisiert. Der Kugelhahn ist im voll geöffneten Zustand quasi ein Rohr. Die Strömung erfährt nur geringe Ab- bzw. Umlenkung. Die Reibung zwischen Kugel und Sitz wird von den keramischen Materialien sehr gut verkräftet. In den meisten Fällen tritt relativ wenig Strahlverschleißbeanspruchung auf. Für stark schleißende Medien ist deshalb der Kugelhahn die optimale Bauart. Durch Einbringen einer entsprechenden Regelkontur in die Kugel wird die gewünschte Regelcharakteristik eingestellt.



Bild 14: Keramischer Kugelhahn

Typische Einsatzgebiete für keramische Regelkugelhähne sind:

Vortragsblock 2

- REA – Anlagen in Kraftwerken
(Kalksteinsuspension / Kalkmilch / Gipssuspension,
Flugaschetransport)



Bild 15: Kraftwerk Sostanj, Slowenien

- Müllverbrennungsanlagen
(Kalksteinsuspension / Kalkmilch / Prozesswasser)



Bild 16: MVA Lauta

- Recyclinganlagen (Prozesswasser / Russwasser)



Bild 17: Rußwasseraufbereitungsanlage



Bild 18: Entspannungsarmatur

Vortragsblock 2

- Erzaufbereitungsanlagen / Stahlwerke (Kohleeinblasungen) (Gemengestoffe)
- Pigmente (TiO₂ –Herstellung)



Bild 19: Titanoxidherstellung

- Chemische Industrie (Schwefelsäureregenerierung)
- Raffinerien (FFC – Katalysatoreinblasungen, FFC Slurry)

Konstruktiv bedingt, hat der Kugelhahn immer einen Totraum. Der Kugelhahn ist deshalb für Medien, die zum Aushärten oder zu Ablagerungen (Kristallisation/Polymerisation) neigen, ungeeignet.

Allen Aussagen und Versprechen über so genannte „Totraumminimierungen“ oder „-optimierungen“ sollte man im Zusammenhang mit Feststoffbeladenen Medien nicht trauen. Die Praxis hat gezeigt, dass der Spalt zwischen Kugel und Käfig nicht abzudichten ist und ein kleiner Spalt eher und öfter zur Schwergängigkeit oder zum Blockieren führt als ein großer.

Bei Kugelhähnen mit schwimmender Kugel ist weiterhin zu beachten, dass die Kugel durch das Medium selbst in die Dichtposition gedrückt werden muss. Dies ist in der Regel bei allen Suspensionen unproblematisch.

Bei Pneumatik- oder Gassystemen mit niedrigem Druck kann es vorkommen, dass die „Medienkraft“ nicht ausreicht, die Kugel in die Dichtposition zu bewegen. Die Armatur erscheint undicht, obwohl alle Armaturenteile ohne Mängel sind. Hier schafft eine Anfederung des

Eingangssitzes Abhilfe. Die Kugel befindet sich immer in der Dichtposition und dichtet auch bei geringsten Druckdifferenzen.



Bild 20: Regelkugelhahn

Immer wieder hört man die falsche Meinung, mit einem Kugelhahn könne man nicht regeln. Sowohl in der Praxis als auch durch entsprechende Messungen wurde nachgewiesen, dass Kugelhähne mit Reduzierungen (Bild 20 - Einschnürungen) im Mittelteil eine ausgezeichnete Regelcharakteristik aufweisen, wenn die Armatur richtig berechnet und ausgelegt wurde.

Keramische Kugelhähne lassen sich auch in gasdichter Ausführung herstellen. Dazu müssen die Kugel und die dazu passende Kalotte im μm – Bereich rund sein.

Wird eine absolut tottraumfreie Armatur gebraucht, ist das Bauprinzip des Scheibenschiebers einzusetzen.

3.3.6.2. Keramische Scheibenschieber

Das Dichtsystem (Bild 21) besteht aus 3 Scheiben, 2 feststehenden Seitenscheiben und einer beweglichen Mittelscheibe. Beim Verfahren der Mittelscheibe reibt diese auf beiden Seiten an den Seitenscheiben. Der Scheibenschieber ist damit ein typischer Fall für Reibverschleiß.

Damit dieses System gasdicht ist, müssen die Scheiben im nm – Bereich eben sein und definierte Rauigkeitswerte aufweisen. Bekannt-

Vortragsblock 2

lich ist ein solches tribologisches System auch von der Werkstoffpaarung abhängig.



Bild 21: Dichtsystem eines Scheibenschiebers

Dieses Bauprinzip zeichnet sich darüber hinaus dadurch aus, dass es sich sowohl für kontinuierliche Regelaufgaben von Suspensionen im Kleinstmengenbereich, für Dosieraufgaben bei hohen Schaltfrequenzen, wie auch für Regel- und Dosiergeräte mit Komponenten aus praktisch jedem beliebigen Material einsetzen lässt. Die Baureihe SSC ist speziell für kontinuierliche Regelaufgaben in der chemischen Industrie entwickelt worden.



Bild 22: Schnittmodell Scheibenschieber SSC 15

Alle medienberührten Teile sind aus Keramik. Die Armatur ist tottraumfrei und in jedem Falle gasdicht. Für besonders extreme Anwendungen kann die Abdichtung nach TA-Luft erfolgen, ein Sperrmedium angelegt und die ganze Armatur mit Heizung oder Kühlung ausgerüstet werden.

Der Scheibenschieber lässt sich praktisch aus jedem Material fertigen. Bei der Materialentwicklung für die Mikroelektronik spielen deshalb diese Armaturen aus arteigenem Material eine große Rolle.

Die Baureihe SDL ist als Dosierschieber entwickelt worden. Als Auf/Zu-Schaltorgan können hiermit Medien mit Feststoffanteilen, auch mit hohen Drücken, dosiert werden. Wegen der sehr schnellen Schaltmöglichkeit können kritische Medien ohne Stömungsumlenkung verschleißarm entspannt werden (z. B.: Niveauregelung, Druckhalt-systeme). Über die Einschaltdauer oder die Einschaltfrequenz kann hiermit in gepulster Form auch geregelt werden.



Bild 23: Dosierschieber SDL 2, SDL 5, SDL 8

3.3.6.3. Keramische Zellenradschleusen

Die Zellenradschleuse ist eine Dosierarmatur mit einem keramischen Dichtsystem. Sie dient hauptsächlich zum Dosieren von stark korrosiven und abrasiven Medien. Die Schleuse ist auch für höhere Drücke geeignet und absolut gasdicht. Mit der keramischen Zellenradschleuse können Feststoffe auch in ein Druckgefäß eingeschleust werden. Die Funktion beruht auf vier gegeneinander dichtenden Keramikscheiben.

Die beiden äußeren Dichtscheiben sind fest eingebaut, die beiden Dosierscheiben sind drehbar gelagert und gegeneinander mittels Dichtelemente abgedichtet. Die Dichtwirkung wird zwischen den beiden Dosierscheiben durch den Mediendruck selbst initiiert.

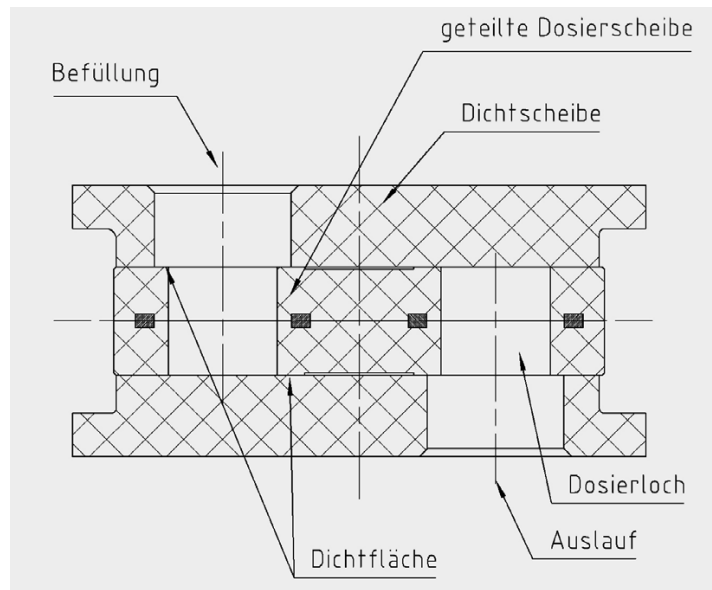


Bild 24: Prinzipbild Zelleradschleuse



Bild 25: Zellenradschleuse

Die Keramikkomponenten sind in einem kompakten Metallgehäuse eingebaut. Befüllloch und Auslaufloch sind um 180° versetzt angeordnet. Die Dosierscheiben haben vier um 90° versetzte Transportlöcher. Befüll- und Auslaufbereich sind mit Keramikhülsen ausgekleidet. Der Antrieb der Dosierscheiben erfolgt über ein Schneckengetriebe. Der Gehäuseraum ist nach außen sowie zum Getrieberaum abgedichtet. Zusätzlich kann mit einem Sperrmedium gearbeitet werden.



Bild 26: Blick in eine Zellenradschleuse

3.3.6.4. Keramische Doppelkugelhahnschleusen

Die Doppelkugelhahnschleuse stellt eine automatisierte Kombination von zwei keramischen Kugelhähnen dar. Zwischen beiden Kugelhähnen ist ein definierter Raum (Zwischenkammer) eingerichtet. Über entsprechende Antriebe werden die Kugelhähne so gesteuert, dass der Zulauf von oben vom Ablauf nach unten drucksicher getrennt ist.

Zur Verbesserung des Auslaufvermögens der Zwischenkammer ist eine pneumatische Ausblaseeinrichtung eingebaut, die während der Öffnung der unteren Armatur einen Wirbel erzeugt und zwischen dem Schließen der unteren und dem Öffnen der oberen Armaturen einen Druck in der Zwischenkammer aufbaut. Beim Öffnen des oberen Kugelhahnes entsteht so ein Druckstoß in den darüber liegenden Behälter, der das Medium auflockert und somit die Auslauffähigkeit wesentlich verbessert.

In Abhängigkeit davon, welche Kugelhähne eingesetzt werden, sind auf diese Weise Schleusen für Medien bis 1.200 °C realisierbar. Bei hohen Temperaturen ist auf jeden Fall die Frage nach dem maximal auftretenden Thermoschock zu beantworten und daraus die richtige Konsequenz zu ziehen.



Bild 27: Doppelkugelhahnschleuse

3.3.7. Regeln bei gleichzeitiger Druckentspannung

In einem normalen Transportsystem sollte man ca. 50 % des Druckverlustes für die Regelarmatur einplanen. Einerseits ist Regeln ohne Druckverlust nicht möglich.

Andererseits sollte der Druckabfall über eine Armatur nicht zu groß sein (möglichst nicht über 5 bar). Die Geschwindigkeiten in Flüssigkeiten stellen sich von 30 bis 70 m/s ein. Bei Gasen ist zu beachten, dass bei einer Halbierung des Druckes mit Schallgeschwindigkeit zu rechnen ist. Wenn dann in den Medien Feststoffe enthalten sind, sind auch keramische Auskleidungen an der Belastungsgrenze angelangt. In derartigen Fällen ist eine Lösung in der Kombination einer Regelarmatur mit einer oder mehreren Festdrosseln bzw. in der Kombination gleichlaufender Regelarmaturen zu finden.



Bild 28: Regelarmatur mit Festdrossel

Eine Kombination mit Festdrosseln ist allerdings nur wirkungsvoll, wenn die minimale Durchsatzmenge nicht unter 25 % des Maximalwertes fallen kann und der Nominaldurchsatz möglichst hoch ist. Bei sehr geringen Durchsatzmengen ist die Wirkung einer Festdrossel gering, so dass fast die volle Druckdifferenz über der Regelarmatur abfällt.

Die Druckentspannung über eine Festdrossel ist äußerst verschleißarm, da die Entspannung und damit der Energieabbau ins Medium selbst erfolgen.

Muss der Minimaldurchsatz öfters auch gegen Null gehen, ist die Kombination mit einer Festdrossel nicht sinnvoll. Hier sollte man gleichlaufende Armaturen kombinieren, um den Druckabfall pro Armatur möglichst unter den kritischen Werten zu halten. Problematisch ist natürlich, den Gleichlauf dauerhaft zu gewährleisten.

3.3.8. Tribologische Fragen

Bei all den bisher beschriebenen Regel- und Dosiergeräten werden keramische Flächen gegeneinander gepresst und gerieben. Natürlich kommt es auch hier zu Verschleißerscheinungen. Der Verschleiß ist umso höher, je größer die Reibzahl der Partner untereinander ist. Bei Anwendungen in bestimmten Flüssigkeiten tritt Mediensmierung auf. Die Verschleißrate sinkt dadurch erheblich. In anderen Anwendungen ist weder Mediensmierung vorhanden, noch sind andere Schmierstoffe möglich oder zugelassen. Gerade in diesen Fällen bewähren sich keramische Materialien mit höchster Präzisionbearbeitung als ideale tribologische Partner. Sehr günstige Gleitpaarungen sind zum Beispiel:

- Aluminiumoxid gegen Zirkonoxid
- Aluminiumoxid gegen Aluminiumoxid

Die Paarung SSIC zu SSIC hat z. B. die doppelte Reibzahl gegenüber Aluminiumoxid gegen Aluminiumoxid.

Sehr schlechte Gleitpartner sind hingegen:

- Aluminiumoxid gegen Siliziumkarbid

Die Paarung SSN zu SSN, die vor allem wegen der hohen Thermochockbeständigkeit von SSN Anwendung findet, hat bei niedriger Anpressung relativ günstige Reibzahlen, zeigt aber bei höheren Presskräften ähnliche Erscheinungen wie Edelstahl zu Edelstahl.



Bild 29: SSN – Scheiben bei geringer Anpressung



Bild 30: SSN – Scheiben bei starker Anpressung

Vortragsblock 2

In Kombination mit einer Reihe von speziellen Beschichtungen lassen sich für alle tribologischen Anwendungen günstige Paarungen finden.

Bei Dosiergeräten und Armaturen wird oft Gasdichtheit gefordert und dies möglichst dauerhaft.

Wenn man weiß, dass durch einen Spalt von $1,3\ \mu\text{m}$ Wasser bei einem Druck von 10 bar durchgeht, kann man ableiten, mit welcher Präzision die einzelnen Teile zu fertigen sind. Bei Gasen muss man etwa eine Potenz besser sein, um gasdicht zu werden.

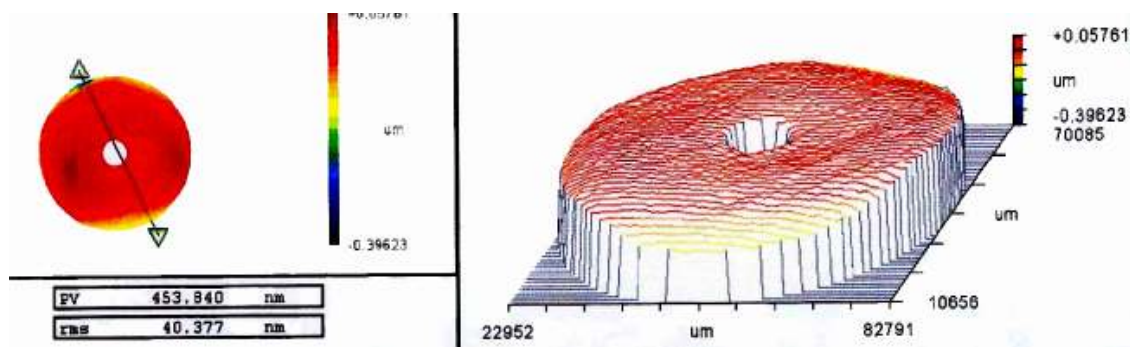


Bild 31: Ebenheit einer Al_2O_3 -Scheibe

D.h. die Gleitpartner müssen mit einer Formgenauigkeit von ca. 100 nm gefertigt werden. Man kann daraus schlussfolgern, dass dies nur mit den Geometrien „Fläche“ und „Kugel“ machbar ist. Alle anderen Geometrien sind nicht mit der notwendigen Formgenauigkeit herstellbar. Für die Armaturen heißt das, dass nur Schieber und Kugelhähne in Keramikausführung gasdicht zu fertigen sind.

3.3.9. Zusammenfassung

Mit dem Einsatz keramischer Materialien in Regel- und Dosiergeräten sind Möglichkeiten geschaffen worden, auch extreme Medien zu beherrschen. Nicht nur der Verschleiß und die Korrosion wurden damit eingedämmt. Bestimmte Regelprozesse wurden erst durch die Verwendung von Ingenieurkeramik möglich.

Um genau regeln zu können, muss man vorher die Führungsgröße genau messen. In vielen Anwendungsfällen, wo unsere keramischen Regelarmaturen zum Einsatz kommen, ist genau dies das Problem.

Schleißende oder aggressive Medien verändern die Sensoren. In einigen Fällen „verdrecken“ die Sensoren. Die Messdaten driften ab, die Regelung wird ungenau. Auch hier ist der Einsatz keramischer Materialien angezeigt.

Begriffsübersicht

Pos.	Begriff	Erklärung
1.	Steuerung	= Beeinflussung eines Prozesses ohne bestimmte Vorgabe
2.	Regelung	= Beeinflussung eines Prozesses, um eine Führungsgröße einzuhalten
3.	Klappe	= Armaturenart
4.	Ventil	= Armaturenart
5.	Kugelhahn	= Armaturenart
6.	Schieber	= Armaturenart
7.	Kükenhahn	= Armaturenart

Pos.	Begriff	Synonym	Falscher Begriff	english
8.	Regelarmatur	Stellglied, Stellgerät	Regelventil, Stellventil	control valve
9.	Klappe		Schmetterlingsventil	butterfly valve
10.	Kugelsegmentventil	Dom valve		
11.	Armatur		Ventil	valve
12.	Absperrarmatur		Absperrventil	on off valve
13.	Drehkegelventil	Camflexventil		
14.	Kugelhahn	Kugelkükenhahn	Kugelventil	ball valve
15.	Regelklappe	Stellklappe, Drosselklappe		control butterfly valve
16.	Regelantrieb	Stellantrieb, Antrieb		actuator
17.	Stellantrieb	Antrieb (Auf/Zu)		actuator
18.	Stellungsregler			positioner

Die verwendeten Vortragsfolien (Nr. 1 bis 21) finden sich auf den folgenden Seiten.

**Dauerhaft
korrosions- und verschleißfrei
regeln und dosieren**

Heinz Albert
Cera System Verschleißschutz GmbH
Hermsdorf



Korrosion- und verschleißfrei Regeln und Dosieren

Inhalt:

- 1. Einleitung**
- 2. Kontinuierliche und getaktete Regelung**
- 3. Problemfälle in der Regelung**
- 4. Probleme beim Regeln und Dosieren schleifender Medien**
- 5. Keramikwerkstoffe für Regel- und Dosiergeräte**
- 6. Keramische Regel- und Dosiergeräte für schleißende und Mehrphasen - Medien**
 - 6.1. Kugelhähne**
 - 6.2. Scheibenschieber**
 - 6.3. Zellenradschleusen**
 - 6.4. Doppelkugelhahnschleusen**
- 7. Regeln und Dosieren bei gleichzeitiger Druckentspannung**
- 8. Tribologische Fragen**
- 9. Zusammenfassung.**

Einleitung

Regeln?
oder
Steuern?

~~Schmetterlingsventil?~~
butterfly valve
= Klappe

Wasserhahn?



Begriffe = Wirrwarr

Keramische Klappe DN 100

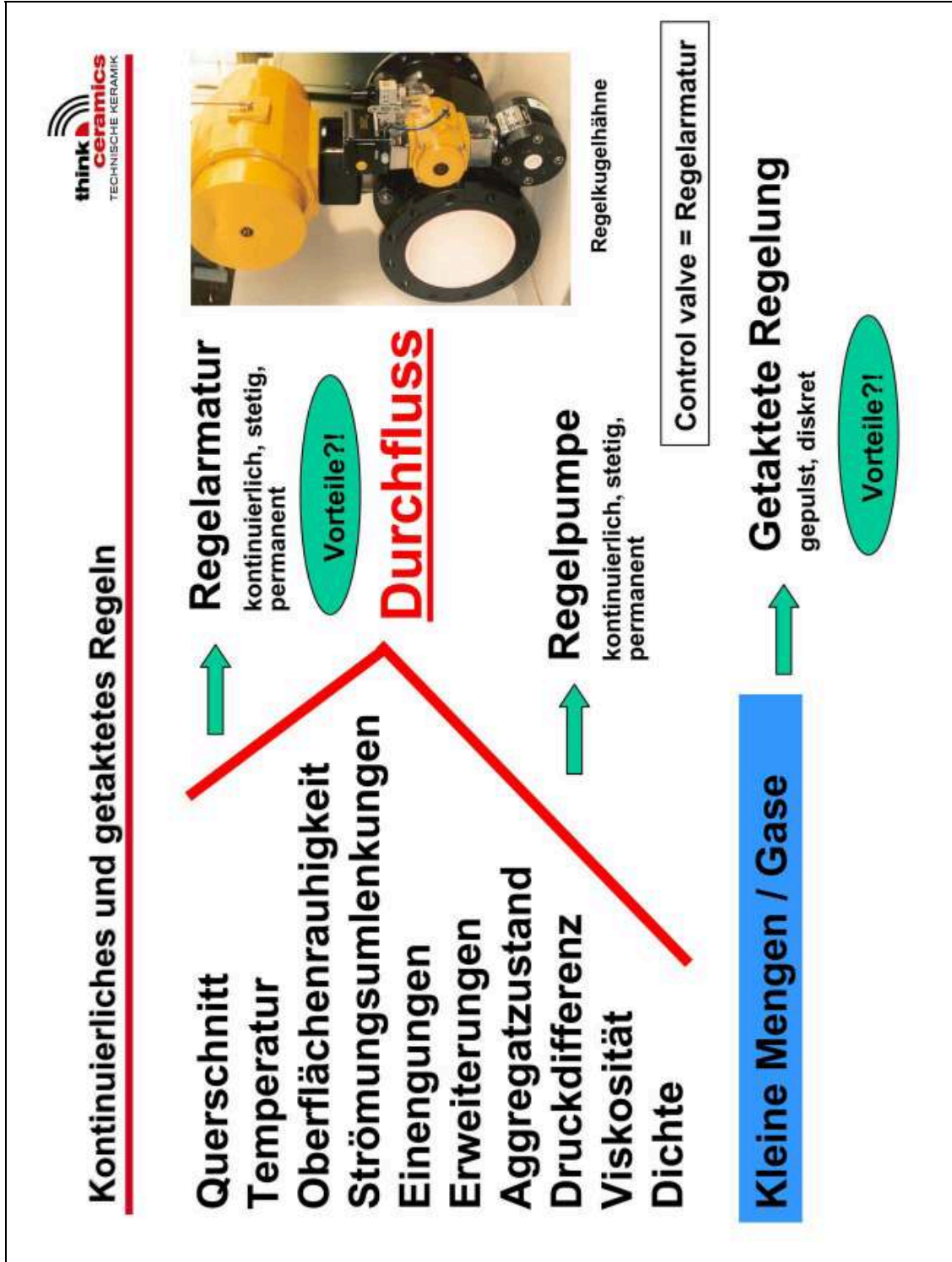
Temperaturregelung
Geschmack eines Joghurts

Durchflussregelung der Kühlflüssigkeit
Mengenregelung der Geschmacksstoffe

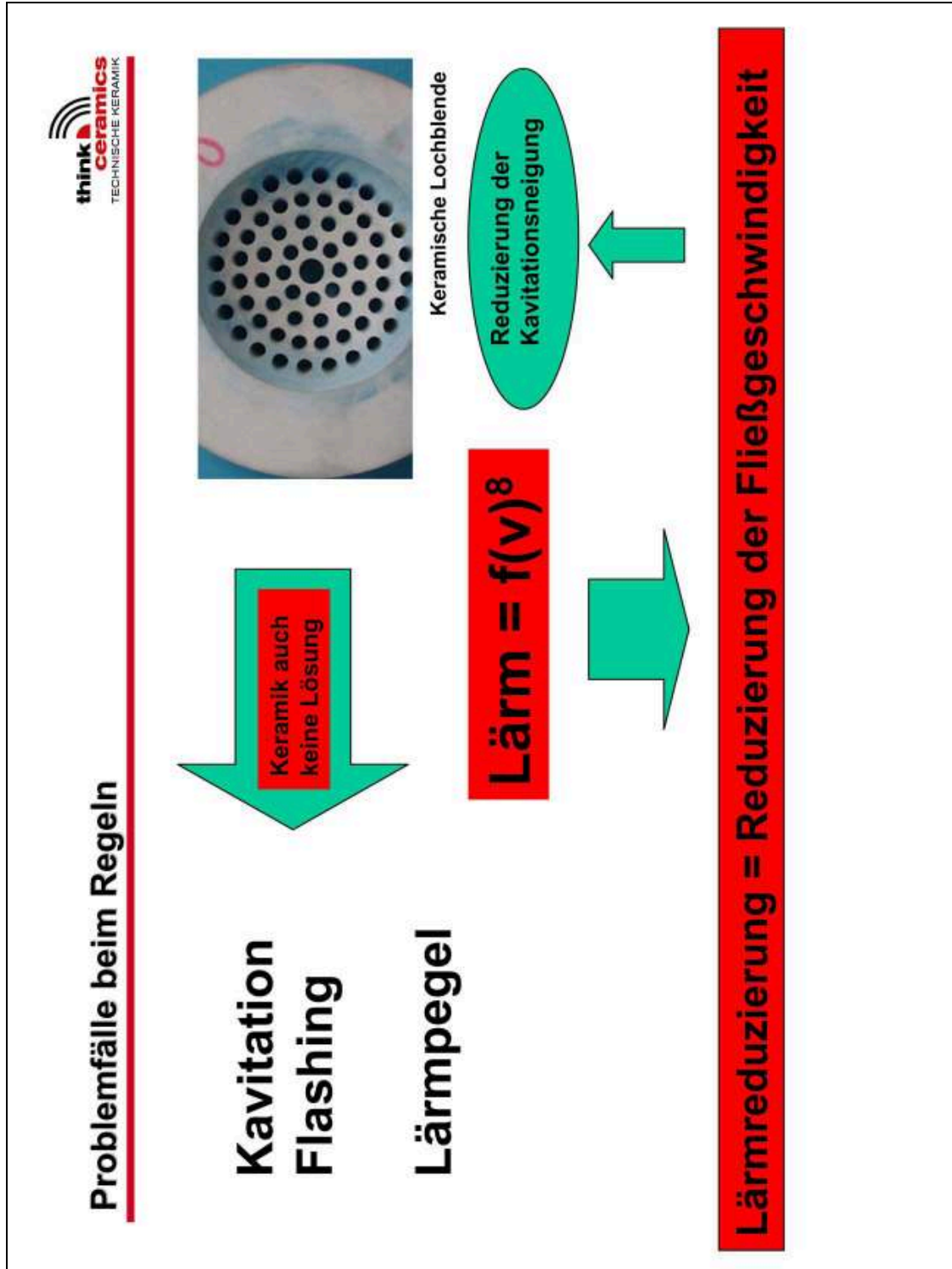
Durchflussregelung und Mengendosierung !



3.3 Regeln und dosieren - Folie 3



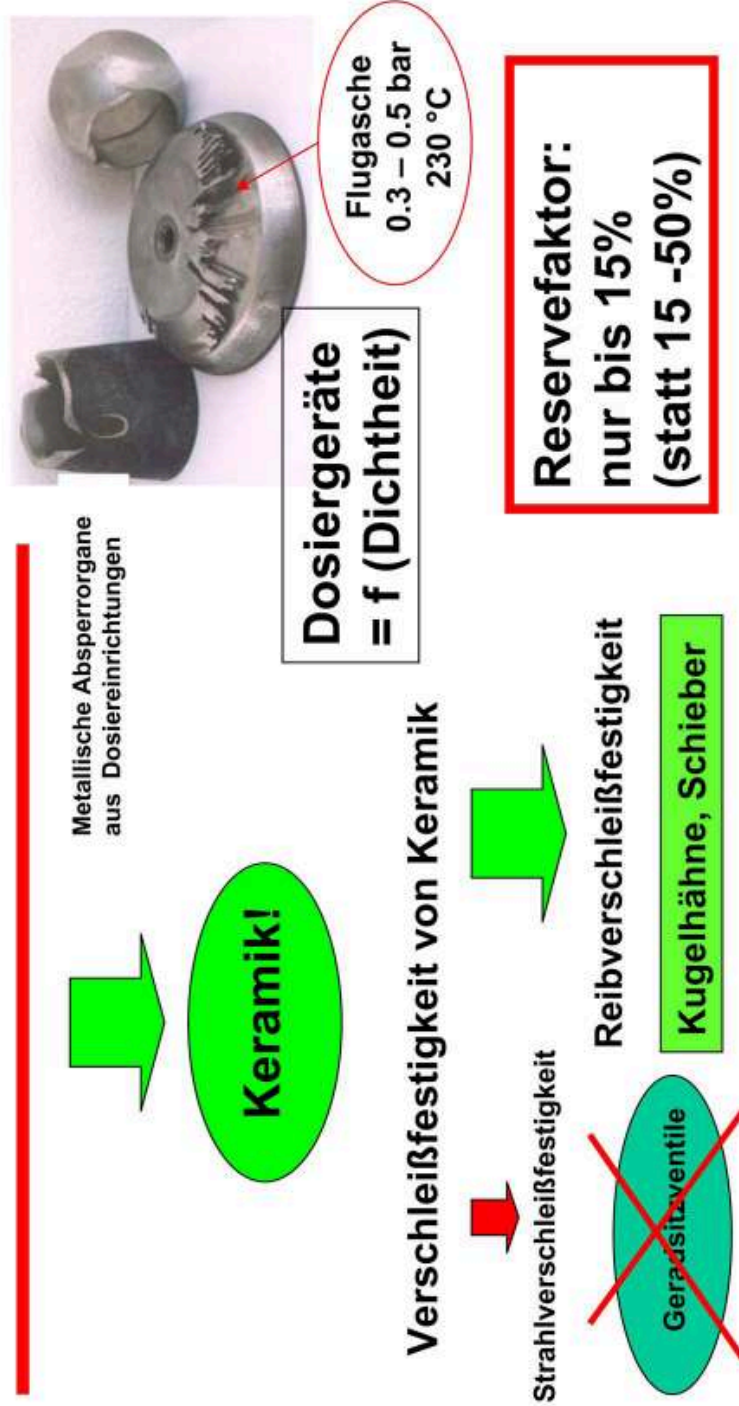
3.3 Regeln und dosieren - Folie 4



3.3 Regeln und dosieren - Folie 5

Probleme beim Regeln und Dosieren schleißender Medien

Schleißende Medien + konventionelle Geräte = Verschleiß!



think ceramics
TECHNISCHE KERAMIK


Keramische Werkstoffe für Regel- und Dosiergeräte

am häufigsten eingesetzt:


- Gruppe - Al_2O_3
- Gruppe - ZrO_2
- Gruppe - SiC
- Gruppe- SSN (Si_3N_4)

Sondermaterialien


Al₂O₃ - Teile




ZrO₂ - Teile



SIC - Teile



SSN - Teile



Extra Vortrag

Eigenschaften

- Festigkeit
- Wärmeisolation
- Korrosionsbeständigkeit
- Verschleißfestigkeit
- Reinheit

Sprödbbruch!

Analyse der Belastungen

Kenntnisse der Eigenschaften

3.3 Regeln und dosieren - Folie 7

Keramische Regel- und Dosiergeräte



Keramische Regelkugelhähne

Keramische Scheibenschieber



Keramische Zellenradschleusen



Keramische Doppelkugelhahnschleusen

Keramische Regelkugelhähne



Keramischer Kugelhahn

Einfaches Bauprinzip! - offen = Rohr

↑ wenig Umlenkung

↑ wenig Strahlverschleiß

- Reibung Kugel – Sitz

= **keramikgerecht!**

- Regelcharakteristik in Kugel/Sitz

Dichtfunktion: - Medium selbst
- Federsystem

Gasdichtheit = f (Rundheit)!

Konstruktiv bedingt:
Kugelhahn immer „Totraum“



Kristallisierende Medien

Schieber!

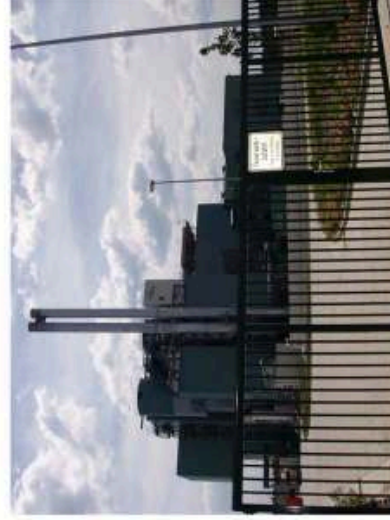
Typische Anwendungsfälle für Keramische Kugelhähne 1

- Kraftwerke und Müllverbrennungsanlagen

- REA – Anlagen (Kalksteinsuspension, Kalkmilch, Gips suspension)
- Entaschung (Flugasche)
- Vorwäscher (Prozesswasser)



Kraftwerk Sostanj, Slowenien



MVA Lauta



Typische Anwendungsfälle für Keramische Kugelhähne 2

-Erzaufbereitungsanlagen/Stahlwerke (Kohleeinblasungen)



Stahlwerk Trinidad

Armaturen Kohleeinblasung

Typische Anwendungsfälle für Keramische Kugelhähne 3

- Recyclinganlagen (Prozesswasser, Rußwasser)



Entspannungsarmatur

Rußwasseraufbereitungsanlage Sokolov



Typische Anwendungsfälle für Keramische Kugelöhne 4

-Pigmente (TiO₂ – Herstellung)

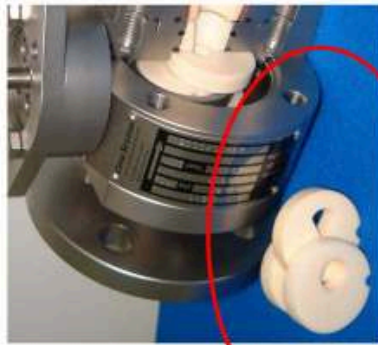


Titanoxidhersteller

-Chemische Industrie (Schwefelsäureregenerierung)

-Raffinerien (FFC – Katalysatoreinblasungen, Slurry)

Keramische Scheibenschieber



Dichtsystem eines Scheibenschiebers

Dichtsystem = 3 Scheiben = Tribosystem

für Gasdichtheit = Ebenheit im nm-Bereich
 = definierte Rauigkeit
 = f (Werkstoffpaarung)!

Bauart geeignet für: - kontinuierliche und getaktet Regelung
 - Kleinstmengenreglung
 - beliebiges Material

Immer tottraumfrei und gasdicht!

Keramische Scheibenschieber 2



Schieber Baureihe SSC (Chemieausführung)

- tottraumfrei
- gasdicht
- Alle medienberührten Teile aus Keramik
- optional Sperrmedium oder TA - Luft
- optional Heizung oder Kühlung



Schnittmodell Scheibenschieber SSC 15

Schieber Baureihe SDL (Dosierschieber)

- Auf / Zu – Schaltorgan
- Sehr schnell schaltbar
- für hohe Drücke (bis 320 bar)
- Regelung über Einschaltdauer oder -frequenz



Dosierschieber SDL 2, SDL 5, SDL 8

Keramische Zellenradschleusen

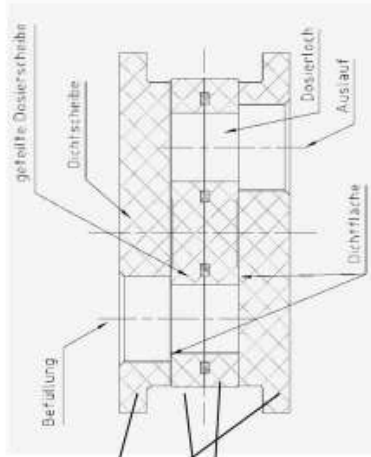


Zellenradschleuse

2 feststehende Außenscheiben

Geteilte Mittelscheibe
Dichtwirkung durch
Mediendruck selbst!

Reglung über Drehzahländerung !



Prinzipbild Zelleradschleuse



Blick in eine Zellenradschleuse

- für stark korrosive und abrasive Medien
- gasdicht
- auch für hohe Drücke
- auch in ein Druckgefäß hinein dosierbar
- Sperrmedium möglich

Keramische Doppelkugelhahnschleusen

= Kombination von 2 Kugelhähnen

- definierter Zwischenraum mit pneumatischer Ausblaseinrichtung
- Steuerung über verknüpfte Antriebe
- Druckaufbau in Zwischenkammer für Druckstoß in den darüber liegenden Behälter
- auch für höhere Temperaturen (bis 1.200°C) (Thermoschock beachten !)



Doppelkugelhahnschleuse

Regeln bei gleichzeitiger Druckentspannung

Bei Planung normal = 50 % Druckverlust für Regelarmatur !

Einerseits: Regeln ohne Druckdifferenz nicht möglich !

Andererseits: Druckdifferenz möglichst nicht zu hoch (nicht über 5 bar) !

Fließgeschwindigkeit:

- bei Flüssigkeiten:
30 – 70 m/s (bei 5 bar)
- bei Gasen:

Schallgeschwindigkeit bei Druckhalbierung !



Lösung:

- mehrstufige Entspannung:
- Kombination mit Festdrossel (25-100%)
- gleichlaufende Armaturen (0 – 100 %)

**Feststoffe und
Schallgeschwindigkeit
!!! ???**

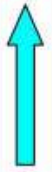
Tribologische Fragen

Keramik gegen Keramik, immer gut ?



Bei weitem nicht !

Medienschmierung



Reibzahl



Günstige Gleitpaarungen:

- Aluminiumoxid gegen Zirkonoxid
- Aluminiumoxid gegen Aluminiumoxid

Reibzahl SiC-SiC = doppelt so groß wie AlO-AlO

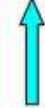
Schlechte Gleitpaarung:

- Aluminiumoxid gegen Siliziumkarbid

SSN-SSN: günstig bei geringer Anpressung !



Beschichtungen



günstige Paarung



Scheiben bei geringer Anpressung



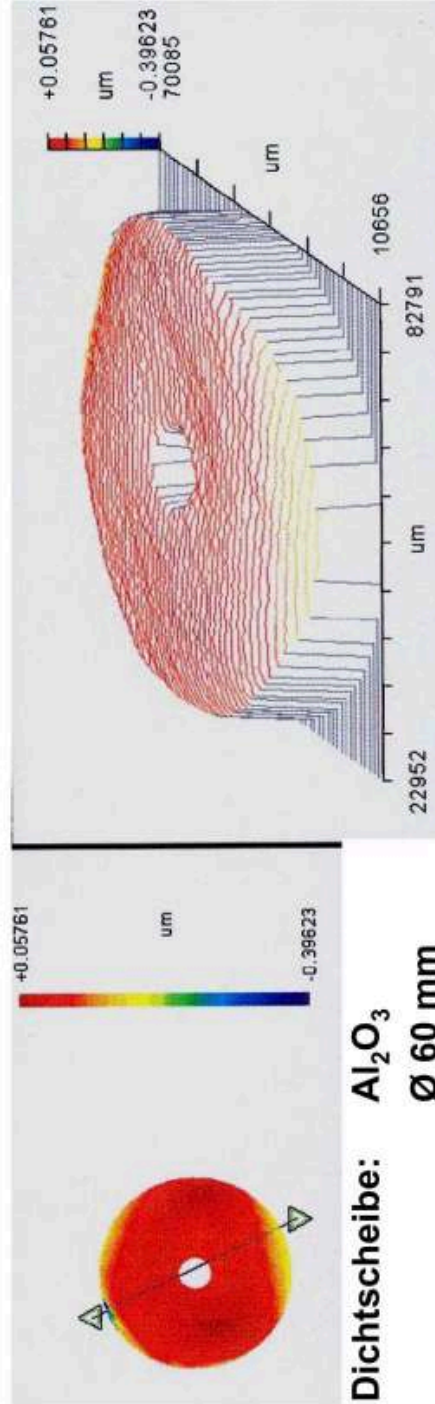
SSN – Scheiben bei starker Anpressung

Ebenheit / Rundheit – Verschleiß ??

Ein Spalt von 1,3 μm lässt Wasser von 10 bar durch !



Gasdichtheit fordert Ebenheiten von **unter 100 nm** !



Ebenheit einer Al_2O_3 -Scheibe mit einem Durchmesser von 60 mm

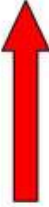

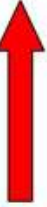


Nur Kugelhöhne und Schieber lassen sich keramisch gasdicht fertigen !



Zusammenfassung

Keramische Materialien in Regel- und Dosiergeräten

-  reduzieren Korrosion und Verschleiß
-  schaffen Möglichkeiten zur Regelung extremer Medien
-  halten Regelungen stabil

Problem liegt oft in der Messung der Führungsgröße. Messdaten driften ab. Die Sensoren „verdrecken“. Die Regelung wird ungenau.



Keramikeinsatz lohnt sich !