

Deutscher Email Verband e.V.

Aufgaben und Aktivitäten

Der Deutsche Email Verband e. V. ist der Berufsverband der gesamten Emailindustrie, ihrer Zulieferer und der in diesen Unternehmen tätigen Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter. Verbandszweck ist die Wahrnehmung und Förderung der gemeinsamen Interessen der Mitglieder. Der Verband hat das Ziel, die Bedeutung des Werkstoffes Email durch geeignete Maßnahmen allen interessierten Wirtschafts- und Verbraucherkreisen zu verdeutlichen. Deshalb werden im Auftrag des DEV Messeteilnahmen durchgeführt sowie regelmäßig Schulungs- und Weiterbildungsmaßnahmen veranstaltet. Die zweimonatlich erscheinende Fachzeitschrift „Email – Mitteilungen des Deutschen Email Verbandes“ wird vom DEV ebenso herausgegeben wie zahlreiche Informationsschriften zu den vielfältigsten Themen aus der Emailtechnik. Die inhaltliche, fachliche Arbeit im Verband wird bei den Sitzungen der Ausschüsse und Arbeitskreise geleistet. Neben dem 11-köpfigen Vorstand unter dem Vorsitz von Dipl.-Kfm. Klaus-Achim Wendel sind im Jubiläumsjahr 2006 folgende Gremien aktiv:

- Technischer Ausschuss, Leitung Prof. Dr. Peter Hellmold
- AK Architektur, Schilder + Plakate, Leitung Heinz Hettich
- AK Gussemaillierung, Leitung Dipl.-Ing. Franz-Josef Behler
- AK Stahlblechemaillierung, Leitung Dipl.-Ing. Heinrich Warnke
- AK Technisches Email Marketing, Leitung Dr. Jörg Wendel
- AK Umweltschutz, Leitung Dietrich Hoffmann
- AK Wassererwärmer, Leitung Dipl.-Ing. Eckhard Voß

Der DEV blickt 2006 auf eine 75-jährige Geschichte der Emailverbände in Deutschland zurück. Im Verband sind aktuell rund 80 Unternehmen und Institutionen sowie etwa 120 persönliche Mitglieder organisiert.

Impressum

Herausgeber:

Deutscher Email Verband e.V.

An dem Heerwege 10, D - 58093 Hagen

E-Mail: info@emailverband.de

Internet: www.emailverband.de

Verlag:

Informations- u. Bildungszentrum Email e.V.

An dem Heerwege 10, D - 58093 Hagen

Tel. 02331 / 788651, Fax 22662

E-Mail: ibe@emailverband.de

Verantwortlicher Schriftleiter:

Prof. Dr. Peter Hellmold

Döläuer Straße 60, 06120 Halle / S.

E-Mail: peter.hellmold@t-online.de

Bezugspreis:

Einzelheft 15,- EUR; zzgl. MwSt., Versandkosten und ggf. Bankgebühren.

Satz und Layout:

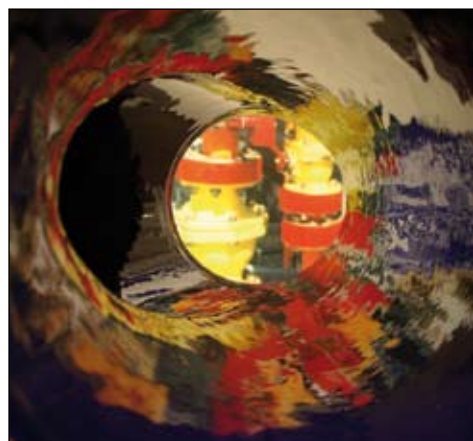
CCR - Büro für Pressearbeit

Dipl.-Kfm. Claus Thielmann

An dem Heerwege 10, D - 58093 Hagen

E-Mail: info@ccr-thielmann.de

Nachdruck, auch auszugsweise, nur mit ausdrücklicher Genehmigung des Verlages gestattet.



Inhalt

Technisches Email	Seite	4
F.-J. Behler		
Korrosion und Werkstoffauswahl	Seite	7
D. Renger		
Herstellung emaillierter Apparate und Komponenten	Seite	11
F. Boeglin		
Normung und Standardisierung	Seite	14
Prof. P. Hellmold		
Apparate- und Anlagenbau mit Technischem Email	Seite	17
Dr. J. Reinemuth		
Wärmetechnik mit emaillierten Komponenten	Seite	22
D. Blattner		
Technisches Email in der Pharma-Produktion	Seite	25
Dr. J. Reinemuth		
Spezielle Anwendungen von Technischem Email	Seite	28
F.-J. Behler		
Ökologische und ökonomische Aspekte zur Oberflächenveredelung	Seite	31
Dr. J. Wendel		
Rühr- und Antriebstechnik für emaillierte Rührwerksapparate	Seite	34
D. Blattner u. M. Swintek		
Technisches Email in der Säureaufarbeitung	Seite	37
K. H. Winter		
Herstelleradressen	Seite	39

Technisches Email

von
Dipl.-Ing. Franz-Josef Behler

Technisches Email nimmt besonders in der Chemie- und Pharmaindustrie, aber auch in der Wasserversorgung und in speziellen Nischen des allgemeinen Maschinenbaus als Allroundwerkstoff einen festen Platz zwischen den Oberflächenwerkstoffen mit eher untergeordneten Anforderungen und den Sonderwerkstoffen mit teilweise sehr spezifischen Leistungsdaten ein.

Je nach Einsatzbereich lässt sich Email mit seinem generell breiten Funktionsprofil auf spezielle Anforderungen hin ausrichten. Ob nun in der Trinkwasserversorgung, in der Wirkstoffchemie, ob in der Abwasserbehandlung, im Lötanlagenbau, in der Pharmazie unter GMP-Bedingungen oder mit Hygienic-Design-Vorgaben – vielfältige Anforderungen mit unterschiedlichen Schwerpunkten werden durch die Verbindung der Strukturwerkstoffe mit den oberflächenbestimmenden Emailqualitäten erfüllt.

Werkstofftypische Eigenschaften

Der Begriff Technische Emaillierung kann analog zur Technischen Keramik gesehen werden. Eine Differenzierung

zu Gebrauchsemails des täglichen Bedarfs – Haushalt, Schmuck etc. – erscheint sinnvoll, da bei der Technischen Emaillierung die technologischen Anforderungen an die Oberfläche im Vordergrund stehen. Damit ist der Begriff festgelegt für Emaillierungen in Prozessen, bei denen physikalisch und chemisch beschreibbare Belastungsbedingungen und daraus abgeleitete Anforderungen an das Oberflächensystem im Vordergrund stehen.

Die wesentlichen werkstofftypischen Merkmale der technischen Emaillierung sind:

- Hohe Resistenz gegen Korrosionsangriff, insbesondere saurer Medien, auch bei höherer Prozessstemperatur
- Hoher Verschleißwiderstand gegen abrasiv wirkende Medien
- Glattheit der Oberfläche (**Abb. 1**)
- Gute Reinigbarkeit, keine Adhäsionsneigung
- Biologisch und katalytisch inertes Verhalten.

Unterstützt werden die Eigenschaften des Emails durch entsprechend ausge-

legte konstruktive Gestaltungen, die die positiven Eigenschaften stärken und bestehende Einschränkungen nach Möglichkeit ausschließen.

Physikochemischer Werkstoffverbund

Die Emaillierung an sich zeichnet sich im Unterschied zu anderen gängigen Oberflächenbeschichtungen und Ummantelungen – Nasslacke, Pulverlacke, Kunststoffauskleidungen – u.a. durch eine intensive physikochemische Verbindung zum Grundwerkstoff aus. Sie ist gekennzeichnet durch Diffusionsprozesse aus dem Grundwerkstoff in Richtung Email und umgekehrt. Daraus bildet sich eine echte Verbundschicht in einer Dicke von einigen, je nach Werkstoffsystem auch bis zu einigen -zig Mikrometern (**Abb. 2**).

Durch die Lösung oberflächennaher Elemente und Verbindungen des Substratwerkstoffes in die Emailmatrix wird zunächst eine optimale Morphologie der Oberfläche zur Bildung der mechanisch/physikalischen Verbindung erzeugt.

Die mit der Anlösung der Substratoberfläche einhergehende Steigerung der Rauigkeit in Verbindung mit der Ausbildung von Hinterschneidungen bietet eine große Zahl von Ankerstellen für die mikromechanisch formschlüssige Verbindung.

Ergänzt wird dieser Mechanismus durch den Aufbau von Druckeigenspannungen des Emails im abgekühlten Zustand, die zur weiteren Stabilisierung des mechanischen Verbundes beitragen. Allerdings können zu hohe Druckspannungen in der Emailsicht zu einer erhöhten Schlagempfindlichkeit konvexer Flächenelemente beitragen.



Abb. 1: Technisches Email – extrem glatte Oberflächenbeschaffenheit in Verbindung mit hohem Verschleißwiderstand gegen abrasiv wirkende Medien und hoher Korrosionsresistenz. Visuelle Prüfung der Oberfläche im Gegenlicht.

Neben diesen mechanisch/physikalischen Bindungsmechanismen unterstützt die Vergrößerung der spezifischen Oberfläche die Ausprägung der zwischenmolekularen Bindungen. Wesentliche Wirkungen werden durch Valenz- und Van-der-Waals-Bindungen erreicht, metallische Bindungen in der Verbindungsschicht spielen in dem Eisen-Silizium-Sauerstoff-System aber ebenfalls eine Rolle.

Aufbau und Korrosionsbeständigkeit

Die Beständigkeit hochsäurefester Emails, wie sie beispielsweise im Chemieanlagenbau eingesetzt werden, sind gekennzeichnet durch teilweise extrem hohe SiO_2 -Gehalte in Verbindung mit Titanium-, Zirkonium-, Lithium- und Boroxiden. Spezielle Modifizierungen sind möglich, wenn die Laugebeständigkeit erhöht werden muss. Obwohl Email gegenüber wässrigen Lösungen im theoretischen Ansatz als nicht stabil gilt, sind die Abtragsraten üblicherweise – nicht Phosphor- und Flusssäure – so gering, daß von einer technischen Stabilität des Systems ausgegangen werden kann. Beispielsweise liegt die Abtragsrate für 20%ige HCl und 110 °C bei 50 μm pro Jahr (entsprechend 9000 Betriebsstunden). Dem steht eine typische Schichtdicke des Deckemails von etwa 1000 μm gegenüber. Die Abtragsraten in flüssiger Phase gehorchen in der Regel jeweils einer t-2-Beziehung (t = Zeit).

Voraussetzungen für hochwertige Qualität

Die Qualität jeder Emaillierung hängt von einer ganzen Reihe wesentlicher Parameter und Randbedingungen ab. Die metallurgische Qualität des Grundwerkstoffes, seine Mikrostruktur, seine mechanische Vorbehandlung und seine Oberflächenbeschaffenheit sind von entscheidender Bedeutung.

So lassen sich Stähle ausschließlich mit eingeschränkter Analyse hochwertig emaillieren. Kohlenstoff, Schwefel und fast alle metallenen Begleitelemente müssen eingegrenzt sein. Sauberes, ferritisches Gefüge in der Randschicht erleichtert üblicherweise die Emaillierung. Kohlenstoffeinschlüsse behindern sie ebenso wie Mikrofehlstellen, die als Wasserstofffallen wirken können. Dies gilt generell für die Emaillierung von Eisenwerkstoffen.

Die thermisch/mechanische Vorbehandlung ist die zweite wesentliche Voraussetzung. Sauberes, abrasiv wirkendes Strahlgut reinigt die Oberfläche, aktiviert diese und vergrößert sie (Abb. 3). Im Anschluss an den Strahlvorgang muss jede Kontamination der Oberfläche vermieden werden.

Daraus leitet sich die Forderung nach einem möglichst zügigen Produktionsablauf – Vorbehandlung, Auftragen des Emailschilders, Trocknung, Emailbrennen – ab.

Abläufe während des Brennens – Chemie und Physik bei 850 °C

Während des Brennvorganges (s. a. Abb. 4) laufen unterschiedliche, temperatur- und zeitabhängige chemophysikalische Prozesse ab. Zunächst wird die Stahloberfläche unter dem getrockneten Schlicker weiter oxydiert, unterstützt durch die Restfeuchte des getrockneten Schlickers. Wasser und Wasserstoff entweichen. Die Oxidschicht wird anschließend bei weiterer Steigerung der Temperatur durch das Email Schritt für Schritt aufgelöst. Bei diesem Schritt laufen die chemischen Haftreaktionen ab, die für die Ausbildung der Verbundzone verantwortlich sind, und es wird eine mechanische Verankerung erreicht. Zu berücksichtigen ist, dass das Email nicht bei einer definierten Temperatur schmilzt, sondern dass der Schmelzvorgang innerhalb eines Schmelzintervalls abläuft, da die Komponenten des Emails unterschiedliche Schmelztemperaturen aufweisen.

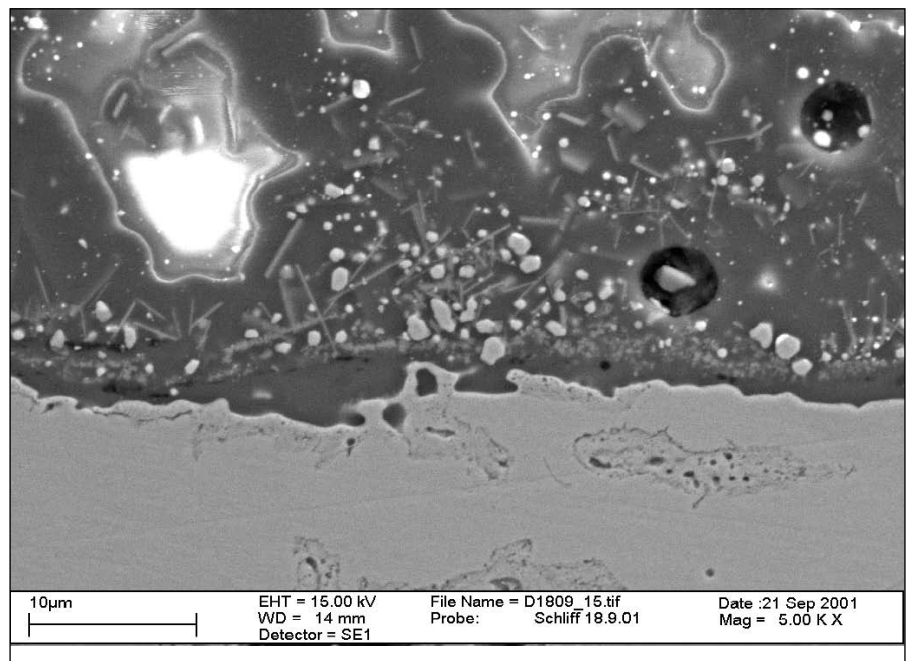


Abb. 2: Detailaufnahme einer Verbundschicht Email (hier mit Gusseisen GGG Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme Fraunhofer-Institut ISC, Würzburg) in etwa 5000-facher Vergrößerung. Deutlich sichtbar die (Mikro-)Rauigkeit der Oberfläche (hell, unten) mit Hinterschneidungen. Nach oben anschließend ein dünner homogener erscheinender Saum von etwa 2 μm Dicke, weiter anschließend die eigentliche Verbundschicht von deutlich über 10 μm Dicke mit unterschiedlichen Ausscheidungen (i.W. Eisentantatkristalle in Nadel- bzw. Plättchenform) und Einlagerungen.

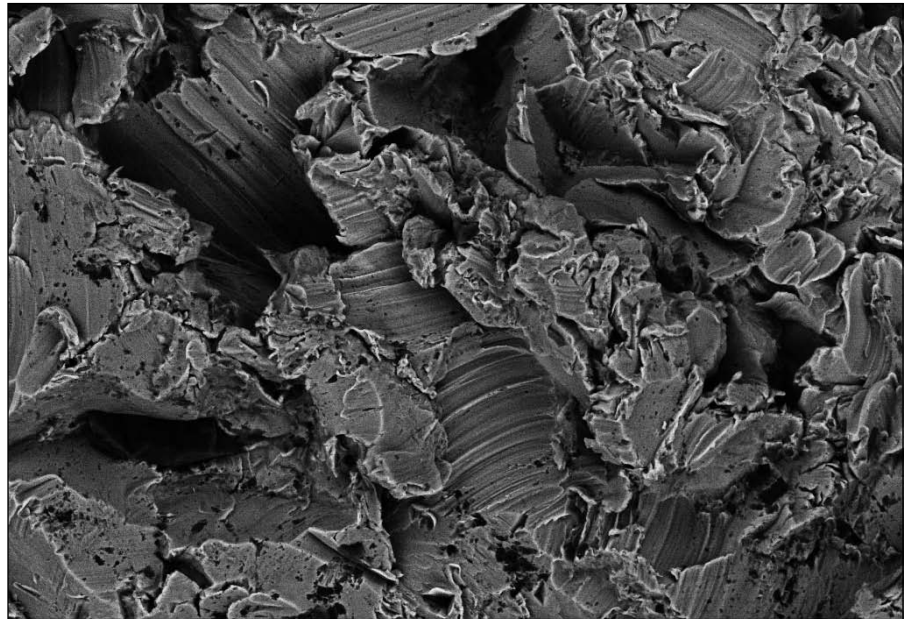
Die verschiedenen Komponenten wirken unterschiedlich auf das Lösungsverhalten der Oxidschicht und auf die Viskosität der Schmelze. Wird durch zu langes oder zu heißes Brennen die Aufnahmefähigkeit des Emails überbeansprucht, scheiden sich aus der übersättigten Emailschmelze Eisenoxide aus und führen zu Fehlern, die nicht reparabel sind (Kupferköpfe, Durchbrennen). Bei wenig gleichmäßiger Masseverteilung können die Emailfehler auch lokal begrenzt auftreten.

Den beschriebenen Abläufen und Effekten trägt die Unterscheidung in Grundemail (erste bzw. erste und zweite Schicht auf dem Bauteil) und Deckemail (anschließender Schichtaufbau bis zur angestrebten Gesamtschichtdicke) Rechnung. Das weichere, weniger resistente Grundemail ist funktional verantwortlich für die optimale Verbindung zum Grundwerkstoff. Das härtere, hochresistente Deckemail verbindet sich sehr gut mit dem Grundemail und sorgt für die angestrebten oberflächenwirksamen Eigenschaften des Gesamtverbundes.

Beherrschte Technologie, breites Einsatzfeld

Die Technische Emaillierung ist aus werkstoffkundlicher Sicht ein klar beschreibbarer und steuerbarer Prozess. Die physikalischen und chemischen Zusammenhänge sind bekannt und bieten generell ein breites Feld an Möglichkeiten, das Zusammenspiel zwischen Grundwerkstoff und oberflächenbestimmendem Email innerhalb gegebener Grenzen optimal auf anliegende Belastungsbedingungen abzustimmen.

Neben den traditionellen Einsatzgebieten Chemieanlagenbau, Pharmazie und Wasserversorgung gewinnt die Technische Emaillierung zunehmend an Bedeutung im allgemeinen Anlagen- und Maschinenbau. Überall, wo die ausge-



10µm	EHT = 15.00 kV WD = 10 mm Detector = QBSD	File Name = due_inr250_auf_33.tif Vertiefungen in Stahlrohren Probe: LNR 250 01/02	Date :24 Jan 2001 Mag = 3.00 K X
------	-------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------

Abb. 3: Detailaufnahme einer mit Korund gestrahlten Stahloberfläche in etwa 3000-facher Vergrößerung (Rasterelektronenmikroskopaufnahme Fraunhofer-Institut ISC, Würzburg). Die Oberfläche ist durch den Strahlvorgang deutlich zerklüftet und erodiert. Sie bietet dem nachfolgenden Emailierprozess eine ideale Voraussetzung für den Aufbau des Werkstoffverbundes.

prägte Resistenz gegen aggressive Medien, auch bei hohen Prozesstemperaturen, in Verbindung mit der mechanischen

Festigkeit gefordert sind, ist Technisches Email ein Werkstoffsystem erster Wahl.

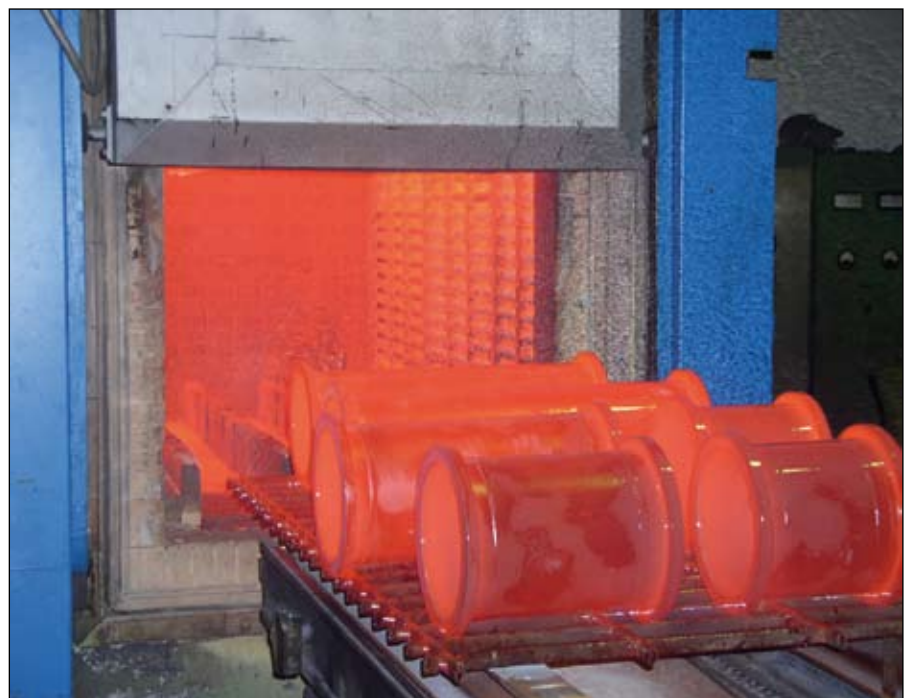


Abb. 4: Bauteile nach Abschluss des Brennvorganges vor dem Ofen. Eine homogene Temperaturverteilung innerhalb des Bauteiles ist Voraussetzung für die Qualität der Emaillierung.

Korrosion und Werkstoffauswahl

von
Dipl.-Ing. Daniel Renger

Entwicklung des Technischen Emails und Historie

Die Emaillierung hat eine sehr alte Historie, und seit der Entdeckung des Emails vor etwa 3500 Jahren ist der Mensch auf der Suche nach dem besten Werkstoffüberzug mit dem Ziel einer guten Ästhetik, einer kunstvollen Verzierung und dem bestmöglichen Schutz des Substrats durch den Überzug. Die über lange Zeit erfolgte Entwicklung des Emails in der Kunst hat sich in den letzten 250 Jahren auf die industrielle Anwendung in starkem Maße ausgedehnt. Heute findet man noch immer eine Vielzahl emaillierter Gegenstände, die lange Zeiten der Nutzung und Atmosphäre in gutem Zustand widerstanden.

Chemiker, Physiker und Werkstoffingenieure haben sehr schnell die Vorteile von Emaillierungen herausgefunden und verstanden, die einzigartigen Emailleigenschaften so auszunutzen, wie sie es beim Glas gewöhnt waren. Allerdings waren die Größe technischer Glasprodukte (z.B. Gefäße, Rohre) und der anwendbare Arbeitsdruck sehr begrenzt und Mitte des 19. Jahrhunderts wurden mit der Entwicklung der industriellen Chemie die ersten emaillierten Behälter gebaut. Damals waren die Behälter aus Gusseisen gefertigt, und das Email wurde auf den glühenden Gegenstand aufgedudert.

Vielleicht hat aufgrund der alten Historie die Emaillierung das Image eines alten Werkstoffs oder einer veralteten Technik. Diese Meinung ist aber völlig falsch, denn emaillierte Behälter und Apparateile weisen noch immer unerreichte Vorteile auf. Man sollte deshalb den umfassenden Begriff „Email“ differenzieren

und z.B. Emails für Kunstgegenstände und höherwertige Technische Emails unterscheiden.

In den 50er Jahren benötigte die Chemie- und Pharmaindustrie für die Erweiterung der Produktionskapazitäten immer größere Behälter. Die Begrenzung der Behältergröße bei Verwendung von Gusseisen lag bei 6 m³ Inhalt. Um größere Behälter bauen zu können, wurde von Gusseisen auf Stahl in geschweißter Konstruktion übergegangen. Zu gleicher Zeit wurden auch die Eigenschaften des Emails wesentlich verbessert und dadurch die Nutzungszeit der Behälter signifikant erhöht. Man kann diese Zeit als den Anfang des Technischen Emails für die Anwendung bei anspruchsvollen Verfahren in der Chemie- und Pharmaindustrie bezeichnen. Die Hersteller von emaillierten Behältern haben dann in Forschung und Entwicklung neuer Anwendungstechniken im Bereich der Stahlemails stark investiert. Das Ergebnis dieser Bemühungen ist die heute erreichte, hohe Qualität des Technischen Emails.

Um den Fortschritt, der in etwa 50 Jah-

ren gemacht wurde, zu demonstrieren, sollen zwei Beispiele genannt werden (s.a. Tab. 1):

- Die Korrosionsrate (Abtragsrate) von Gussemails des Jahres 1950 bei Behandlung mit 20%iger Salzsäure bei einer Temperatur von 108°C wurde von 3,1 g/m²/24h auf 1,1 g/m²/24h beim Stahlemail des Jahres 1957 verbessert.
- Das heutige Stahlemail (2005) weist eine Korrosionsrate von 0,14 g/m²/24h auf, d.h., die chemische Beständigkeit des Technischen Emails wurde um den Faktor 8 erhöht.
- Für Natronlauge, d.h., eine wässrige, stark alkalische Lösung von Natriumhydroxid (NaOH), sind die Fortschritte noch deutlicher. Bei einem pH-Wert von 14 und einer Temperatur von 80°C wurde die Emailbeständigkeit um den Faktor 13 verbessert.

Eigenschaften Technischer Emails

In Tab. 1 sind einige Eigenschaften Technischer Emails zusammengestellt.

Tabelle 1: Entwicklung von Eigenschaften Technischer Emails (die Thermoschockwerte beziehen sich entsprechend EN 13807 auf flache Proben)

		1955	1957	1964	1972	2005	Faktor
		Guss	Stahl	Stahl	Stahl	Stahl	
HCl 20%	AG	3,1	1,1	0,7	0,3	0,14	7,8
108°C							
NaOH	AG	5,5	9,5	2,6	0,9	0,7	13,6
1N 80°C							
Thermoschock (a)	AT	85°C	130°C	170°C	190°C	220°C	1,7
AG = Gewichtsverlust in g/m ² /24 h							
(a) Thermoschock Temperaturen auf emaillierte Platte bezogen nach DIN ISO 13807							

Chemische Beständigkeit

Säurebeständigkeit

Im Allgemeinen zeigen die Technischen Emails eine sehr gute Beständigkeit gegenüber Säuren und zwar bei jeder Säurekonzentration bis zu verhältnismäßig hohen Temperaturen. Die minimalen Beständigkeitswerte der Emails liegen gegenüber den meisten Mineralsäuren im Säurekonzentrationsbereich von 20...30 %.

Der Mechanismus der Emailkorrosion durch Säuren besteht bei Korrosionsbeginn in einem Ionenaustausch zwischen den Alkalimetallionen des Emails (Li^+ , Na^+ , K^+) und den Protonen H^+ (bzw. Hydroniumionen H_3O^+) der Säuren. Im Folgenden kommt es zu einer oberflächlichen Zersetzung der Silicatverbindungen des Emails mit Bildung einer korrosionshemmenden Silicagelschicht.

Für Mineralsäuren (nichtorganische Säuren) liegen die Korrosionsraten bei 0,1 mm/a bei Temperaturen von 120...140°C und der ungünstigsten Säurekonzentration. Flusssäure jedoch greift das übliche Technische Email bei jeder Temperatur an. Die Konzentration darf 20ppm nicht übersteigen.

Durch Phosphorsäure steigt die Korrosionsgeschwindigkeit ausnahmsweise mit der Säurekonzentration stetig an: 10%ige H_3PO_4 führt bei 163°C zu einem Emailabtrag von 0,1 mm/a, mit 70%iger H_3PO_4 wird dieser Wert bereits bei 112 °C erreicht.

Organische Monocarbonsäuren greifen das Email nur sehr wenig an. Mit 20%iger Essigsäure wird die Korrosionsrate von 0,1 mm/a erst bei einer Temperatur von 180 °C erreicht.

Da die Emailsichten auf Stahl generell etwa 1 mm dick sind, weisen emailierte Behälter eine sehr hohe Nutzungsdauer auf.

Laugebeständigkeit

In Laugen wird das glasartige Netzwerk des Emails infolge Spaltung der Siloxanbindungen (Si-O-Si-Bindungen) durch OH-Ionen kontinuierlich abgebaut.

Daraus folgt, dass die zulässigen Korrosionstemperaturen bei Laugen niedriger als bei Säuren sind und die Temperatur der Reaktionsmedien in den Behältern gut kontrolliert werden muss, da eine Temperaturerhöhung um 10 K eine Verdoppelung der Korrosionsgeschwindigkeit des Emails zur Folge hat.

Hemmung des korrosiven Angriffs

Die Anwendung von Zusätzen zum Reaktionsmedium kann die Emailkorrosion hemmen und einen breiteren Einsatz des emailierten Apparates ermöglichen. Im Falle eines sauren Mediums können einige 10 bis einige 100 ppm Siliciumdioxid das Email wirksam schützen, indem der Zusatz die Korrosion in der Flüssigkeit beträchtlich vermindert. Im Falle basischer Reaktionsmedien können einige 100 ppm von Calcium-, Aluminium- und Zinkverbindungen als Zusätze günstig wirken.

Die Alkaliresistenz Technischer Emails lässt sich emailseitig aber auch durch bestimmte Emailkomponenten (ZrO_2) wesentlich erhöhen, da die mit dem Korrosionsmedium gebildeten Reaktionsproduktschichten den weiteren korrosiven Angriff auf die Emailoberfläche hemmen.

Beständigkeit gegenüber organischen Medien

Besonders hervorzuheben ist die hohe Korrosionsresistenz der Technischen Emails gegenüber organischen, neutralen Medien (z.B. Lösungsmittel), was im Vergleich zu organischen Kunststoffen als möglichen Alternativwerkstoffen zu Emails ein oft entscheidender Vorteil der Technischen Emails ist.

Mechanische Beständigkeit

Da Email ein glasähnlicher Werkstoff ist, weist er neben hervorragenden Eigenschaften auch entsprechende Merkmale auf, nämlich Sprödigkeit (geringe Schlagfestigkeit) und niedrige Zugfestigkeit. Letztere Eigenschaften werden von potenziellen Anwendern, die das Email nicht gut kennen, oft – unberechtigt – überbetont, d.h., es wird ein schlechter Eindruck vermittelt.

Während des Abkühlens nach dem Brennvorgang der Emailierung wird die Emailsicht durch das Stahlsubstrat unter Druck gesetzt, was für die Gesamteigenschaften des Werkstoffverbundes wichtig ist, da beim Email wie beim Glas die Druckfestigkeit die Zugfestigkeit bei weitem übersteigt. Bei einer mechanischen Beanspruchung (Verformung, Schlag) müssten diese Druckspannungen durch entsprechende Streckwirkungen erst ausgeglichen werden, bevor das Email unter – ungünstige – Zugspannungen gesetzt wird.

Heutige Technische Emails zeigen sehr gute Schlag- und Abriebfestigkeiten sowie Thermoschockbeständigkeiten.

Neue Entwicklungen emailierter Apparate für die Verfahrenstechnik

Stahlemailierte Apparate finden vielseitige Anwendungen in der Chemie-, Feinchemie- und Pharmaindustrie. Durch die Vielfältigkeit der Verfahren, ihrer spezifischen Problemstellungen und auch die Zielstellungen der Produktivitätserhöhung und Qualitätsverbesserung waren jedoch die klassischen (alten) Behältertypen nicht immer gut geeignet. Bei den Herstellern von emailierten Apparaten wurden aber entsprechende Fortschritte gemacht, und heute werden Teile emailiert, an die man vor 15 Jahren nicht gedacht hatte.

Jetzt wird eine komplette und nach den verschiedenen Verfahren eingeteilte Reihe von Rührbehältern angeboten. Vom kleinen 6Liter-Laborgefäß bis zum 110m³-Rührbehälter haben die Betreiber die Auswahl von verschiedenen Druck- und Temperaturbereichen sowie vielen konstruktiven Varianten. 60m³-Reaktoren für einen Druck von 30 bar mit einem Gewicht von 75 Tonnen und 60 mm Stahldicke werden heute porenfrei ausgeliefert.

In zunehmendem Maße werden Apparate auch aus emailliertem Edelstahl hergestellt. Diese finden ihre Anwendung für Verfahren in Niedrigtemperaturbereichen oder in der Pharmaindustrie, wo sie in Reinräumen genutzt werden. Die emaillierten Edelstahlbehälter sind in allen Oberflächenqualitäten lieferbar.

Tabelle 2: Chemische Beständigkeit von Technischen Emails und Alternativwerkstoffen unter verschiedenen Bedingungen

	OXIDIEREND	REDUZIEREND
CHLORID-IONEN VORHANDEN	TECHNISCHE EMAILS	
	TANTAL	
	PTFE - KUNSTSTOFFE	
		ZIRCONIUM
		HASTELLOY B
		TITANIUM - PALLADIUM
		TITANIUM
		HASTELLOY C
		MONEL
		HASTELLOY F
	KEINE CHLORID-IONEN	ZIRCONIUM
		MONEL
		INCONEL
		18/8 Cr-Ni-STÄHLE

Die Gefahr der Zerstörung des Emails durch elektrostatische Auf- und Entladungen kann durch Anwendung von elektrisch ableitendem Email vermieden werden, wobei Kriechströme schon bei niedriger Spannung schnell ansteigen und somit ein Spannungsanstieg vermieden wird, der Ursache für die Zerstörung des Emails sein kann.

Spezielle Entwicklungen von Behälterteilen (z.B. Blockflansche) oder Zubehörteile (z.B. spezielle Ventile), in Dekeln eingeschmolzene Schaugläser oder Wärmetauscher und emaillierte Profilprägeplatten zum Heizen oder Kühlen zeigen gravierende Vorteile gegenüber alten Ausführungen.

Technisches Email und andere Werkstoffe

Das Technische Email im Apparatebau hat sich als ein hervorragendes Material, das unter den vielseitigsten Betriebs- und Belastungsbedingungen eingesetzt werden kann, bewährt.

Email ist insbesondere ein moderner und anwendungsvariabler Werkstoff in der Chemie- und Pharmaindustrie.

Beispiele für die universelle Einsetzbarkeit von Emails gehen aus der Gegenüberstellung mit anderen Werkstoffen in der **Tab. 2** hervor.

Der einzige mit Email in Bezug auf den Anwendungsbereich vergleichbare Metall-Werkstoff ist das Tantal, dessen Einsatz aber mit wesentlichen Nachteilen verbunden ist. Das sind insbesondere die Materialkosten des Metalls und die Kosten für die Schweißvorgänge, die immer unter kontrollierter Atmosphäre durchgeführt werden müssen. Außerdem versprödet Tantal durch Wasserstoff, d.h., die breite Palette der Hydrierungs- und Dehydrierungsreaktionen lässt sich in Tantal-Behältern nur sehr begrenzt realisieren.

Andere Metall-Werkstoffe lassen sich nur in sehr eingeschränkten Anwendungsbereichen einsetzen, wie z.B. die Edelstähle und Alloys, die gegenwärtig sehr große Preiserhöhungen (+ 30 % im Juni 2005) erfahren und deren Komponenten (vor allem Ni, Cr und Mo) unerwünschte Nebenreaktionen katalysieren. Auch die teuren Metalle Titanium und Zirconium sind nur in begrenzten Anwendungsbereichen Alternativwerkstoffe für das Email.

Die glatte Oberfläche als eine wichtige Eigenschaft des Emails (Feuerglanz, Feuerpolitur) wird bei alternativen Metall-Werkstoffen nur mit sehr hohem Aufwand erreicht. Der entsprechende Vorteil

des Email-Werkstoffs kommt besonders in der Pharma-Industrie zum Tragen, wo eine gute Reinigbarkeit von Behältern und Apparateteilen gefordert wird, oder in der Chemie-Industrie in Polymerisationsapparaten, deren Oberflächen antiadhäsive Eigenschaften aufweisen müssen (Schutz vor Anbackungen).

Organische Kunststoffe als Alternativen zum Email haben insbesondere durch ihre geringe Temperaturresistenz im Chemie- und Pharma-Apparatebau nur eine sehr begrenzte Anwendungsrelevanz. Lediglich das PTFE besitzt neben einer guten chemischen Beständigkeit auch eine relativ hohe thermische Resistenz. Generell sind organische Kunststoffe diffusionsanfällig und nur sehr unvollkommen gasdicht. Mit Kunststoffen beschichtete Stahlsubstrate haben den Nachteil, dass die Folien aus dem organischen Material nicht vakuumsticher sind (Ablösung vom Substrat).

Behälter und Apparateile aus Glas können hinsichtlich der chemischen und thermischen Belastbarkeit eine Alternative zum Verbundwerkstoff Stahl/Email sein, aber auch hier werden oft verfahrensentscheidende Eigenschaftsparameter nicht erreicht (Beheizungs- und Abkühlbedingungen, begrenzte Zugbeanspruchbarkeit und Elastizität), so dass sich Glasapparaturen nur für kleine Dimensionierungen eingeführt haben.



60 m³-Rührbehälter für einen Druck von 30 bar



16m³-Rührbehälter mit an der Wand angeschweißten und komplett emaillierten Stromstörern



Komplette und nach den verschiedenen Verfahren eingeteilte Reihe von emaillierten Rührbehälter

Herstellung emaillierter Apparate und Komponenten

von
Dipl.-Ing. Francis Boeglin

Vorwort

Emaillierte Apparate, Zubehörteile und Rohrleitungen sind in der Chemie- und Pharmaindustrie für verfahrenstechnische Anlagen wegen ihrer chemischen und physikalischen Eigenschaften vielfältig einsetzbar.

Die ausgezeichnete chemische Beständigkeit der Emails gegen Säuren, Laugen und neutrale organische Medien erlaubt ein sehr breites Spektrum ihrer Anwendung.

Die hervorragend glatte Oberfläche des Emails ($R_a 0,05$) erleichtert die Reinigung der Anlagen. Die hohe Oberflächenhärte (600 Vickers) des Emails bietet auch einen guten Widerstand gegen abrasive Medien.

Im Vergleich zu kunststoffausgekleideten Bauteilen sind die Einsatzgrenzen von emaillierten Bauteilen wesentlich

höher, sowohl bezüglich Druck (-1...+25 bar) als auch Temperatur (-60...+250°C). Die undurchlässige Emailschiicht bietet bei Produktwechsel in Mehrzweckanlagen einen eindeutigen Vorteil gegenüber den diffusionsanfälligen Kunststoffauskleidungen.

Im Vergleich zum Laborglas bedeutet Technisches Email wesentlich mehr Sicherheit bezüglich mechanischer sowie thermischer Schocks.

Der hochwertige Verbundwerkstoff Stahl/Email ist das Resultat langjähriger Erfahrungen sowohl im Hinblick auf Emailrezepturen und Applikation als auch hinsichtlich Materialauswahl, Konstruktion und Brennverfahren.

Stahlbaufertigung

Stahlbauteile, die zum Emaillieren vorgesehen sind, müssen nach bestimmten

Kriterien, vom Entwurf bis zur Fertigstellung, ausgelegt werden:

Gleichmäßige Wanddicken müssen berücksichtigt werden zur Vermeidung von Spannungen wegen nicht homogener Aufheizung bzw. Abkühlung während des Emailliervorganges.

Überdimensionierte Wanddicken werden realisiert, nicht wegen der Betriebsbedingungen, sondern zur Berücksichtigung der Wärmebehandlung bei mehrmaligem Aufheizen über 800°C, bei dem die Verformung der Bauteile beherrscht werden muss.

Die Auswahl der Vormaterialien wird unter Einschränkungen der chemischen Zusammensetzung getroffen, um die Wasserstoffdiffusion aus dem Stahl zu minimieren und die chemische Verbindung zwischen Stahl und Email zu optimieren.

Schweißzusatzwerkstoffe sowie -parameter sind genau zu definieren. Sämtliche zu emaillierende Flächen weisen Mindeststrahlen auf, und Stutzenöffnungen werden warm ausgezogen (**Bild 1**), um sicherzustellen, dass die Druckvorspannung über die emaillierte Oberfläche einen optimalen Verlauf nimmt.

Die Bauteile werden in herkömmlicher Form mechanisch vorgefertigt, geschlossert und geschweißt. Anschließend werden sämtliche Schweißnähte innen blechen verschliffen: Walzspuren, Ziehriefen sowie Doppelungen müssen vollständig entfernt werden, entstehende Vertiefungen sind mit einem sanften Übergang zu verschleifen.



Bild 1: Stutzenauswahlung im Apparateboden

Damit eine einwandfreie Emaillierung möglich wird, müssen die Schweißnähte röntgensicher sein: Schweißnahtfehler in der zu emaillierenden Fläche führen zum Scheitern der Emaillierung.

Die Bauteile werden bei 920°C normalisierend gegläht. Nach diesem Vorgang und eventueller Druckprüfung werden die Teile vollständig gestrahlt, um einerseits die Oberfläche zu reinigen, andererseits eine Rauigkeit zu erzeugen, die zur mechanischen Verzahnung des Emails dient.

Auch die Qualität der Stahlbaufertigung wird ständig durch entsprechende Prüfungen sichergestellt.

Die Prüfung der Vormaterialien erfolgt durch Zeugniskontrollen und systematische Gegenanalysen, visuelle Kontrollen der Schweißnahtvorbereitung und Überprüfung der Schweißparameter, visuelle Prüfung der Oberflächen, 100%ige Farbeindring- bzw. Ultraschall-Prüfung der Schweißnähte sowie Röntgenprüfung der Schweißnähte nach entsprechender Vorschrift.

Emailherstellung

Jeder Emaillierer besitzt seine eigenen Emailrezepturen, einige Hersteller schmelzen selber ihre Emailfritten.

Die Emailherstellung verläuft wie folgt: Nach Mischung der Rohstoffe (Quarz, Borax, Feldspat, Soda, Haftoxide und Flussmittel) werden diese in einem Ofen bei ca. 1500 °C geschmolzen. Die Schmelzmasse wird anschließend in einem Kaltwasserbad abgeschreckt. Dabei entstehen die Fritten (**Bild 2**).

Diese werden nach Beimischung von Stellmitteln und Wasser in einer Kugelmühle zu auftrag- und spritzfähigem Schlicker gemahlen. Ein Siebvorgang schließt die Schlickerherstellung ab.

Selbstverständlich wird diese Fertigung durch ständige Prüfungen begleitet:

- Prüfung der Vormaterialien durch Analysen und Laborschmelzen.
- Kontrolle des Fließverhaltens sowie des Ausdehnungskoeffizienten jeder Charge.
- Probeplatten zur Prüfung von thermischen und mechanischen Grenzwerten.
- Prüfung von Mahlfeinheit, Viskosität sowie Korngrößenverteilung des Schlickers.

Emaillieren

Stahlbauteile sowie Emailslicker kommen nun in das Emaillierwerk, um weiterverarbeitet zu werden.

Das Emaillieren besteht aus mehreren Applikationen und Brenndurchgängen, wobei die Gesamtbeschichtung homogen verschmilzt.

In den ersten Schichten (1- bis 2-mal) wird Grundemail aufgetragen. Dieses Email besitzt besondere Eigenschaften, um die geforderte Haftung, sowohl

mechanisch (durch die Verzahnung auf der aufgerauten Stahloberfläche) als auch chemisch (durch eine Oxydationsschicht, die sich beim Brennen zwischen Stahl und Email bildet) herzustellen.

Die Zusammensetzung des Grundemails bestimmt auch weitgehend die zulässige Temperaturdifferenz (Delta T) am Endprodukt durch seine Pufferwirkung zwischen Stahl und Deckemail. Da das Grundemail chemisch weniger beständig ist, sollte darauf geachtet werden, dass nicht mehr als insgesamt 0,4 bis 0,5 mm aufgetragen werden.

Für die nächsten Schichten (5- bis 8-mal) wird Deckemail verwendet: Dies ist das eigentliche hochsäurefeste bzw. laugebeständige Email. Die gesamte Emailschichtdicke soll zwischen 1,0 und 2,2 mm bei Apparaten und 0,8 bis 2,0 mm bei Rohrteilen liegen.

Die technischen Lieferbedingungen von emaillierten Bauteilen sind für Apparate und Zubehörteile in DIN 28063, für Rohrteile in DIN 2876, eindeutig definiert. Damit die Bauteile die hohen Anforderungen erfüllen, sind eine entsprechende



Bild 2: Emailschmelze und Frittenherstellung

Technologie und eine große handwerkliche Fertigkeit erforderlich.

Nachstehend sind einige wichtige Arbeits- und Kontrollschritte aufgeführt:

- Applikation durch Spritzen (bei Flächen, die gut zugänglich sind) oder Ausgießen (in schlecht zugängliche Hohlräume) des Emailschilders.
- Vollständige Trocknung der aufgetragenen Schicht.
- Abwischen des Überschusses bzw. Schablonieren der Kanten.
- Aufladen der Bauteile auf hitzebeständige Brennroste.
- Einbrennen der aufgetragenen Schicht, bei ca. 900°C die Grundemailschichten und ca. 800°C das Deckemail; je nach Art und Größe der Bauteile werden unterschiedliche Brennprogramme angewandt (**Bild 3**).
- Abkühlen auf Raumtemperatur (an ruhiger Luft bzw. in geschlossenen Zellen).
- Ausführung von Zwischenkontrollen nach jedem Brand bestehend aus: visueller Prüfung (auf Einschlüsse, Risse, Brennverhalten, Oberflächen-

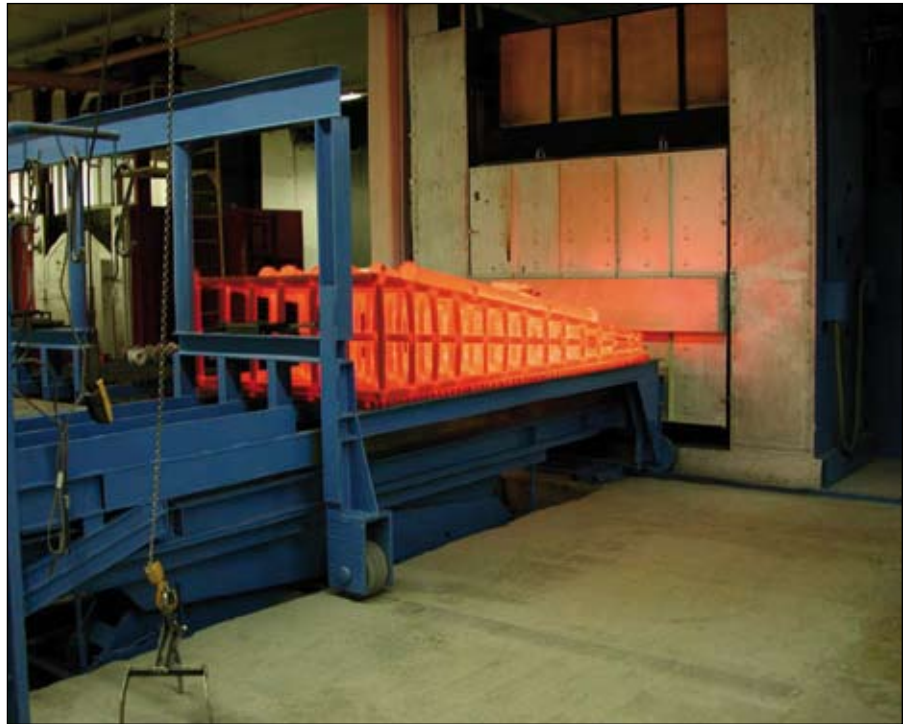


Bild 3: Brennvorgang beim Emaillieren von Rohren

güte) sowie Schichtdickenmessung an diversen Stellen der Bauteile (**Bild 4**).

- Korrektur der unzulässigen Fehler,

wie große Zunderstellen, Schamotteeinschlüsse usw., sowie sprunghafte Schichtdickenveränderungen (diese Stellen werden vor der folgenden Applikation ausgeschliffen).

- Kontrolle der Brennverzüge: damit wird gewährleistet, dass die Endprodukte in den zulässigen Toleranzen fertig gestellt werden können (Abweichungen lassen sich gegebenenfalls bei Folgebränden korrigieren).
- Zusätzlich wird, ab einer Schichtdicke von 1,0 mm (0,8 mm bei Rohren) eine Hochspannungsprüfung bei 20 kV Gleichstrom ausgeführt.

Diese Vorgänge werden so oft wie notwendig wiederholt, bis die Anforderungen der Norm erfüllt sind. Selbstverständlich werden diese Kontrollen nicht als Stichproben, sondern bei sämtlichen Bauteilen (100%) durchgeführt.

Sorgfältig und fachkundig hergestellt, entstehen sichere und hochwertige Bauteile, mit denen der Anwender sowohl chemische Beanspruchung als auch Abrieb, Druck, Temperaturen und Reinigung beherrscht.



Bild 4: Emailprüfung im Kolonnenschuss

Normung und Standardisierung rund um Technisches Email

von
Prof. Dr. Peter Hellmold

Einführung

Die Normung auf dem Email-Gebiet stellt ein wichtiges Instrument für die Herstellung und Entwicklung von Verbundwerkstoffen höchster Qualität dar.

Für das Technische Email lassen sich 4 Felder unterscheiden, auf denen Normung und Standardisierung wirksam werden:

- Konstruktionsnormen
- Prüfnormen
- Qualitätsnormen
- Beschreibende Normen.

Während die Konstruktionsnormen für das anwendungsgerechte Konstruieren von Apparaten und Anlagenteilen unter besonderer Berücksichtigung der emailliergerechten Konstruktion wesentliche Voraussetzung für eine hohe Funktionalität der Technischen Emails sind, beziehen sich die genormten Prüfverfahren auf einzelne, für die verlässliche Nutzung wichtige Qualitätsparameter der Verbundwerkstoffkomponenten (Stahl bzw. Guss / Email) und der Endprodukte.

Die in den letzten 10 Jahren zunehmende Bedeutung der Qualitätsnormen liegt in der Festschreibung und systematischen Verbesserung der Leistungsdaten der emaillierten Erzeugnisse im Hinblick auf die Abgrenzung von Billigprodukten, die mit der generell hohen Leistungsfähigkeit der technischen Emails nichts zu tun haben.

Beschreibende Normen sollen dem Kunden der Hersteller von Technischen Emails eine verbale Grundlage zur Einordnung der Produktqualität und zum Produktvergleich geben.

Entwicklung der Normungsarbeit

Mit der einstmals führenden Stellung der deutschen Emailindustrie im Weltmaßstab ist vom Deutschen Institut für Normung (DIN) eine Reihe von Prüfverfahren auf dem Emailgebiet kreiert worden, die nach der 1970 erfolgten Gründung der Internationalen Normungsorganisation (ISO) weitgehend in international gültige Normen überführt wurden (DIN ISO Normen). Bis 1998 lagen Leitung und Sekretariat des internationalen Gremiums für die Email-Normen (ISO/TC 107/SC6) beim DIN, wodurch ein starker Einfluss auf die niveauevolle Normung auf dem Emailgebiet genommen werden konnte, der sich bis heute in einer sehr aktiven nationalen und internationalen Normungsarbeit fortsetzt.

Seit 1994 laufen die Normungsaktivitäten der europäischen Länder über das Europäische Komitee für Normung (CEN), für Emails im Rahmen des Technischen Komitees CEN/TC 262 (Überzüge und

Beschichtungen) in der Arbeitsgruppe 5 „Email-Überzüge“ (WG 5), deren Federführung in Großbritannien liegt.

Die seit der CEN-Gründung festgeschriebene Verbindlichkeit der europäischen Normen (EN) für die Länder Europas und die bisherigen Erfahrungen auf dem Gebiet der Prüf- und Qualitätsstandards von Emails und Emailierungen zeigen die unbedingte Notwendigkeit einer intensiven Einflussnahme auf die strategische und inhaltliche Normungsarbeit.

Nach einer Vereinbarung zwischen ISO und CEN müssen ISO-interessierende Normungsvorhaben bei ISO federführend bearbeitet und durch Parallelabstimmung bei ISO und CEN weiterentwickelt werden.

Die an der Normung interessierten nationalen und internationalen Institutionen (z.B. Wirtschaftsverbände, Betriebe, Institute) können sich entsprechend der ISO-Direktive und der CEN-Geschäftsordnung nur über die nationalen Spie-

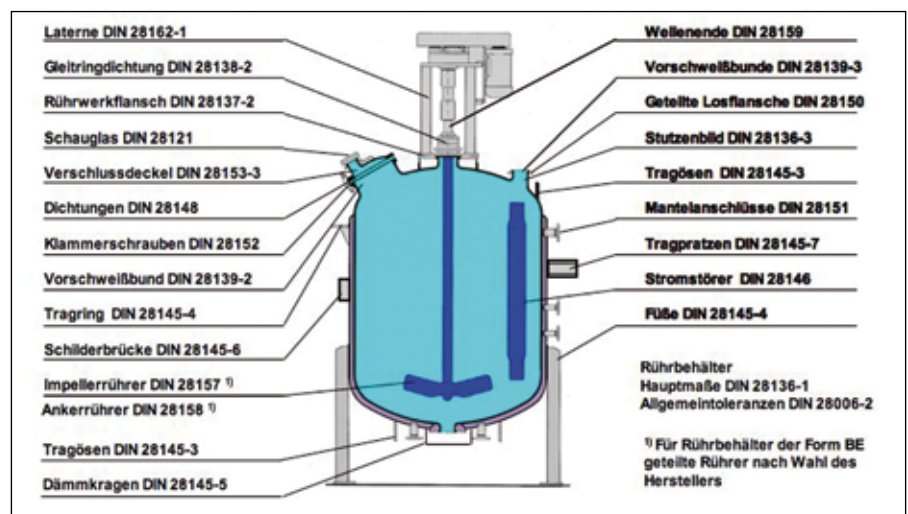


Bild 1: DIN-Normen für Rührbehälter

gelgremien in die europäische und internationale Normung einbringen.

Die deutschen nationalen Spiegelgremien sind

- der Normenausschuss Materialprüfung NMP 163 „Emails und Emailierungen sowie
- der entsprechende Unterausschuss NMP 163.1 „Emails und Emailierungen für Behälter und Apparatebau“,

die ursprünglich nur als Normenausschüsse für Materialprüfung (NMP), d.h. Prüfverfahren, fungierten, im Rahmen der europäischen Normung (CEN) aber in zunehmendem Maße auch für das Gebiet der Qualitätsnormung zuständig sind.

Die Normen für das Technische Email (außer den Normen für die Konstruktion des Metallsubstrats) werden vornehmlich im Normenunterausschuss NMP 163.1 behandelt.

Stand der Normung von Technischem Email

Auf dem Gebiet der Technischen Emails existieren klar definierte und akzeptierte Prüf- und Qualitätsnormen, die in regelmäßigen Abständen (i.d.R. alle 5 Jahre) im Hinblick auf wissenschaftlich-technische, technologische und Produkt-Entwicklungen überprüft werden, z.B. hinsichtlich

- sachlicher Präzisierungen der Normen
- Berücksichtigung neuer bzw. modifizierter Prüfmethode
- thematischer Zusammenfassung verschiedener Einzelnormen zu Normpaketen
- Erweiterung der Anwendungsbereiche der Normen.

Vielen Neuformulierungen von Normen liegen neueste und systematische wissenschaftlich-technische Untersuchungen bzw. Ergebnisse aus Ringversuchen bei verschiedenen Herstellern und Anwendern vor.

Tabelle 1: Normen zu Prüfverfahren für Technische Emails und Emailierungen

Bezeichnung	Titel	Ausgabe
DIN EN ISO 15695	Bestimmung der Ritzbeständigkeit von emailierten Gegenständen	01.11.2001
DIN EN ISO 8289	Niedrigspannungsprüfung zum Nachweis und Lokalisieren von Fehlstellen	01.12.2001
DIN EN ISO 2808	Beschichtungswerkstoffe – Bestimmung der Schichtdicke	10/1999
DIN EN 14483	Bestimmung der Beständigkeit gegen chemische Korrosion	
Teil 1: 14483-1	... durch Säuren bei Raumtemperatur	01.09.2004
Teil 2: 14483-2	... durch kochende Säuren	01.09.2004
Teil 3: 14483-3	... durch alkalische Flüssigkeiten unter Verwendung eines Geräts mit hexagonalem Gefäß	01.09.2004
Teil 4: 14483-4	... durch alkalische Flüssigkeiten unter Verwendung eines Geräts mit zylindrischem Gefäß	01.09.2004
Teil 5: 14483-5	... in geschlossenen Systemen	01.09.2004
DIN EN 14430	Hochspannungsprüfung	01.12.2004
DIN EN 15159	Emailierte Apparate für verfahrenstechnische Anlagen	Entwurf 01.04.2005
DIN EN 12266	Industriearmaturen – Prüfung von Armaturen	
Teil 1: 12266-1	Druckprüfung	06/2003
Teil 2: 12266-2	Prüfung, Prüfverfahren	05/2003
DIN EN 12569	Industriearmaturen – Armaturen für die chemische und petrochemische Verfahrensindustrie	02/2001
DIN ISO 4528	Auswahl von Prüfverfahren für emailierte Flächen von Erzeugnissen	01.03.2001
DIN ISO 4530	Prüfung der Wärmebeständigkeit	01.06.1984
DIN ISO 4532	Bestimmung des Widerstandes emailierter Gegenstände gegen Schlag	01.10.1995
DIN ISO 4534	Prüfung des Fließverhaltens; Ablaufversuch	01.03.1985
DIN ISO 6370	Bestimmung des Widerstandes gegen Verschleiß	
Teil 1: 6370-1	Verschleißprüfgerät	01.10.1995
Teil 2: 6370-2	Massenverlust nach Tiefenverschleiß	01.10.1995
DIN ISO 13807	Bestimmung der Rissbildungstemperatur von Chemie-Emails beim Abschreckversuch	01.09.2001
DIN ISO 4531	Abgabe von Blei und Cadmium emailierter Gegenstände im Kontakt mit Lebensmitteln	
Teil 1: 4531-1	Prüfverfahren	04/2000

weder durch Europäisierung bestehender nationaler Normen oder durch direkte Normungsvorschläge aus den nationalen Gremien für die EN-Normung.

Im Folgenden wird in tabellarischer Form der aktuelle inhaltliche Stand der Normen

weitere Informationen zu den Normen sind im Anhang A dargestellt.

Im Folgenden wird in tabellarischer Form der aktuelle inhaltliche Stand der Normen

mung zu den Technischen Emails gegeben, der sich bei den Konstruktionsnormen auf eine charakteristische und typische Auswahl beschränken muss.

Konstruktionsnormen

Aus einer großen Anzahl detaillierter Normen zur konstruktiven Vielfalt emaillierter Behälter, Apparate und Anlagenteile ist im **Bild 1** die Normengrundlage für einen emaillierten Rührbehälter als ein typisches Beispiel aufgeführt, das die Erzeugniskonstruktion, -abmessungen, -toleranzen, -verbindungen und technische Funktionen betrifft.

Die Konstruktionsnormen für Technische Emails sind fast ausschließlich DIN-Normen, die auch von anderen europäischen Behälter- und Apparateherstellern benutzt werden.

Prüfnormen

In **Tabelle 1** sind die Normen zu den für Technische Emails und Emaillierungen wichtigsten Prüfverfahren zusammengestellt, wobei der Schwerpunkt auf den Prüfmethoden liegt, die insbesondere die für Behälter und Apparate typischen Dickschichtemails betreffen und tangieren, aber Produkte mit Dünnschichtemailierungen nach der TE-Definition (s. Kap. A, z.B. Wärmeaustauscherbleche) auch Berücksichtigung finden.

In dem neuen Normenpaket „Chemische Resistenzprüfung“ sind frühere Einzelnormen so zusammengefasst, dass insbesondere die Vergleichbarkeit der Prüfergebnisse auf der Basis unterschiedlicher Korrosionsmedien und -bedingungen gewährleistet ist.

In der Norm „Hochspannungsprüfung“ ist besonders die Anwendung für einen großen Bereich der Emailsichtdicke erweitert worden.

In **Tabelle 2** sind in Bearbeitung befindliche europäische Normungsprojekte aufgelistet.

Tabelle 2: Vorgesehene europäische Projekte zu Prüfnormen

Bezeichnung	Titel	Bearbeitungsstand
DIN EN 14863	Bestimmung der Kantenabdeckung von emaillierten Stahlplatten für Wärmeaustauscher	Entwurf 02/2004
DIN EN 15206	Herstellung von Proben zur Prüfung von Stahlblech-Emails, Aluminium-Emails und Gusseisen-Emails	Manuskript Entwurf

Tabelle 3: Europäische Qualitätsnormen

Bezeichnung	Titel	Bearbeitungsstand
DIN EN 15159	Emaillierte Apparate für verfahrenstechnische Anlagen	
Teil 1: 15159-1	Technische Lieferbedingungen	Entwurf 04/2005
Teil 2: 15159-2	Qualitätsanforderungen	Entwurf 04/2005
DIN EN 14866	Regenerative, gepackte und emaillierte Wärmeaustauscher für Luft/Gas- und Gas/Gas-Erhitze – Anforderungen	Entwurf 02/2004
00262176 (EN)	Gestaltung von emailbeschichteten, verschraubten Stahlbehältern für die Speicherung	Prüfung/Ankündigung

Tabelle 4: Beschreibende DIN-Normen

Bezeichnung	Titel	Bearbeitungsstand
DIN 51176	Darstellung und Charakterisierung von Fehlern	
Teil 1: 51176-1	Chemie- und Apparateemails	Ausgabe 2003
Teil 2: 51176-2	Dünnschichtemails	Norm-Vorlage

Qualitätsnormen

Die Formulierung von Qualitätsparametern in europäischen Produktnormen gestaltet sich aus Gründen des inner-europäischen Wettbewerbs schwierig, ist aber für die Stabilisierung des europäischen Marktes im globalen Rahmen äußerst wichtig.

Tabelle 3 gibt einige Beispiele für europäische Qualitätsnormen zu Technischen Emails an.

Beschreibende Normen

In **Tabelle 4** ist ein Beispiel für zwei Teile einer beschreibenden nationalen Norm angegeben. Hier sind verbal und in farbigen Darstellungen mögliche Fehler von Emailierungen unter Berücksichtigung korrekter Nomenklaturen beschrieben.

Der Teil 2, der z.B. für emaillierte Wärmeaustauscherbleche Bedeutung hat, befindet sich noch in Bearbeitung.

Apparate- und Anlagenbau mit Technischem Email

von
Dr.-Ing. Jürgen Reinemuth

Technisches Email ist ein universell anwendbarer Werkstoff-Verbund aus einem tragenden Stahlkörper, der auf den produktberührten Flächen mit chemisch höchst beständiger Beschichtung aus einem glasartigen Werkstoff, der Technischen Emailierung beschichtet ist. Die fast universelle chemische Beständigkeit, insbesondere im sauren Bereich, erlaubt es, universell nutzbare Anlagen in der chemischen und pharmazeutischen Industrie zu verwirklichen. Bestimmte Prozesse sind ohne emaillierte Apparate gar nicht realisierbar, weil kein anderer Werkstoff eine ausreichende Beständigkeit aufweist. Schließlich werden in der pharmazeutischen Produktion emaillierte Apparate oftmals wegen ihrer hervorragenden Reinigbarkeit eingesetzt.

Dieser Beitrag soll einen Überblick über den emaillierten Apparatebau geben. Er soll verdeutlichen, welche Apparate und verfahrenstechnischen Komponenten mit Technischem Email verwirklicht werden können. Er soll zudem deutlich machen, welche Flexibilität und letztendlich auch Innovationskraft in dem eigentlich „traditionellen“ Werkstoff Technisches Email steckt.

In den vergangenen Jahren wurden emaillierte Apparate für fast alle erdenklichen Verfahrensschritte entwickelt und gebaut. **Tabelle 1** zeigt eine Übersicht über wesentliche verfahrenstechnische Grundoperationen und nennt Beispiele für entsprechende Realisierungen in emaillierten Komponenten, Baugruppen und Apparaten.

Lagern und Speichern

Emaillierte Vorlagen und Lagertanks

Tabelle 1: Verfahrenstechnische Grundoperationen und realisierte Komponenten, Baugruppen und Apparate in Technischem Email

(Verfahrenstechnische) Funktion	Komponente, Baugruppe oder Apparat
Lagern, Speichern	Vorlagen, Lagertanks
Medien leiten und fördern	Emaillierte Pumpen Rohrleitungen
Medienfluss trennen	Ventile und Armaturen
Rühren und Mischen, Homogenisieren, Dispergieren flüssig/flüssig und flüssig/gas, Wärme tauschen etc.	Rührbehälter Statische Mischer
Messen und Regeln	Temperatursensoren, pH-Sensoren, Leitfähigkeitssonden, Füllstandsüberwachung
Wärme tauschen	Kondensatoren Verdampfer
Stoffe trennen	Dünnschicht-Verdampfer Kolonnen Filter-Trockner Filternutschen Doppelkonus-Trockner

gibt es in mannigfacher Ausführung. Bei der Gestaltung dieser Apparate besteht heute vielfach der Kundenwunsch nach einer individuell gestalteten und für den jeweiligen Anwendungsfall optimalen Ausführung. Damit ist der Kreativität des Kunden keine Grenze gesetzt, obwohl auch hier, wie in vielen anderen Bereichen der emaillierten Apparatetechnik, Nor-

men und Richtlinien zur Verfügung stehen. **Abbildung 1** zeigt einige Beispiele für Lagertanks und Vorlagen, wie sie üblicherweise zum Einsatz kommen: Bei kleinen Volumina, etwa bis 1000 l, werden Tanks und Vorlagen in zweigeteilter Ausführung bevorzugt. Diese sind fertigungstechnisch günstig. Je nach Gegebenheiten beim Kunden



Abbildung 1: Zweiteilige vertikale Vorlage, horizontaler und vertikaler Lagertank



Abbildung 2: Beispiele emaillierter Rohrleitungsteile und einer emaillierten Pumpe für die Prozessindustrie

werden größere Tanks entweder stehend (z.B. auf Füßen oder einer Standzarge) oder liegend, üblicherweise auf Tragsätteln, ausgeführt. Wägezellen werden zur Ermittlung des Füllstandes eingesetzt. Eine Sonderanwendung sind Transportbehälter, wie beispielsweise emaillierte Eisenbahntanks mit Volumina von bis zu 40.000 l, wie sie zum sicheren Transport von Essigsäure eingesetzt werden.

Medien leiten und fördern

Ein wichtiges Anwendungsgebiet für Technisches Email sind Rohrleitungen. Ein umfangreiches Standardprogramm an Rohren, Fittings und dem erforderlichen Zubehör, wie Flansche, Dichtungen, Aufhängungen, und das zur Planung erforderliche Know-How werden angeboten. Besonderes Augenmerk wurde bei der Weiterentwicklung der emaillierten Rohrleitungen auf verbesserte Totraumarmut im Bereich der Rohrverbindung gelegt. Der große Vorteil von emaillierten Rohrleitungen gegenüber solchen mit Kunststoffauskleidung ist neben der hohen chemischen Beständigkeit vor allem die Diffusionsdichtheit und die Vakuumfestigkeit. Daneben werden für besonders aggressive Anwendungen in der chemischen Industrie emaillierte Pumpen angeboten, bei de-

nen alle produktberührten Teile mit einer hochwertigen Technischen Emaillierung versehen sind.

Medienfluss trennen

Neben den Rohrleitungsteilen selbst kommen emaillierte Ventile zum Einsatz, wenn die Korrosivität des Mediums dies erfordert. Moderne emaillierte Ventile, die als Auslaufarmatur für emaillierte Rührbehälter eingesetzt werden, sind heute multifunktionale Mess- und Überwachungsinstrumente. Neben dem quasi obligatorischen Temperatursensor, werden häufig auch Sensoren zur Überwachung der Emaillierung eingebaut. Spezielle Ausführungen stehen zudem

zur Verfügung, wenn Totraumarmut gefordert ist, oder wenn eine Zertifizierung gemäß Fire Safe Standard BS 6755, Teil 2, von Kunden erwartet wird.

Rühren und Mischen

Rührbehälter und Rührwerke

Das Rühren und Mischen ist sicherlich das wichtigste Anwendungsgebiet emaillierter Apparatechnik. Verständlich, da ja das Rühren und Mischen einer der wichtigsten verfahrenstechnischen Prozesse überhaupt ist. So vielfältig hier die Anwendungen und die verfahrenstechnischen Aufgabenstellungen sind, so haben sich doch weitestgehend standardisierte Apparatebaureihen am Markt



Abbildung 3: Emailliertes Bodenauslaufventil, hier in Fire Safe Ausführung nach BS 6755, Teil 2, als Bodenauslaufarmatur sowie emaillierte Membranventile



Abbildung 4: Emaillierte Rührbehälter

durchgesetzt, sieht man von speziellen Anwendungen, z.B. in der pharmazeutischen Produktion, ab.

Der heute übliche Rührbehälter-Typ für Volumina über 630 l ist die Bauform BE in Anlehnung an DIN 28136. Die größte Öffnung an diesem Apparatetyp ist die Mannlochöffnung, so dass diese Apparate die kleinstmögliche Dichtungslänge aller emaillierten Apparate aufweisen. Für Volumina ab 630 l und darunter wird der AE-Behälter verwendet, bei dem ein Deckel mit den Anschlussstutzen über eine Klammerschraubenverbindung druckdicht auf einem Unterkessel fixiert ist. Apparate der Bauform CE verlieren heute immer mehr an Bedeutung.

Rührbehälter verfügen üblicherweise über ein Heiz-Kühl-System, das entweder als Doppelmantel mit Strömungsdüsen oder mit Halbrohrschlangen ausgeführt ist.

Alle Sonderbauformen emaillierter Rührbehälter lassen sich auf eine dieser drei Grundformen zurückführen. So werden

beispielsweise für Pharma-Rührbehälter die Rührwerksstutzen tottraumarm ausgeführt oder der gesamte Behälter aus Edelstahl gefertigt und dann auf der Produktseite hochwertig emailliert. Einzelne Hersteller bieten zudem spezielle Technische Emails an, die besonders auf die Belange der Wirkstoffproduktion abgestimmt und optimiert sind.

Neben dem eigentlichen Druckbehälter werden unterschiedliche Konzepte und Komponenten der Rührtechnik wie Restmengenrührer, Axial- und radialfördernde Rührer, Ankerrührer für hochviskose Medien, Stromstörer, Einleitrohre und andere Baugruppen für den emaillierten Rührbehälter angeboten. Weiterhin stehen heute verbesserte Mannlochdeckelkonstruktionen mit einfach zu handhabenden Schnellverschlüssen, CIP-Reinigungskomponenten, spezielle Gleitringdichtungen und kompakte Oben- oder Unten-Rührwerke zur Verfügung.

Statische Mischer

Eine Sonderanwendung stellen sta-

tische Mischer aus Technischem Email dar. Mischkammern, wie in **Abbildung 5** gezeigt, werden verwendet, um Gase fein in korrosiven Flüssigkeiten zu dispergieren, oder aber auch zur Flüssig-Flüssig-Mischung in kontinuierlichen Verfahren. Die nach dem Prinzip der freien Turbulenz arbeitende Mischkammer ist in einer fein gestuften Baureihe individuell auf den gewünschten Prozess abstimmbare. Übliche Anwendungen sind Neutralisationen, Dispersion von Gasen bei der Aufbereitung von Prozessabwässern und ähnliches.

Messen und Regeln

Der Werkstoff Technisches Email eignet sich besonders für die Realisierung hochwertiger Sensoren für die In-Process-Messung und Kontrolle des Prozessfortschrittes. Zu nennen sind zunächst die üblichen Sensoren zur Erfassung der Produkttemperatur. Diese werden zum einen als einsteckbares PT 100-Element im Stromstörer, im Bodenauslaufventil oder an einem speziell

gestalteten Sensorbereich direkt in der Behälterwand realisiert. Alternativ werden Temperatursensoren angeboten, die in die Emaillierung eingebettet sind und so über ein besonders schnelles Ansprechverhalten verfügen.

Neben der Temperatur kann auch der pH-Wert im Behälter durch emaillierte Sensoren erfasst werden. Dazu sind entweder Glas-Sonden in spezielle Tauchrohre installiert, oder es werden emaillierte pH-Sonden in den Behälterstutzen eingesteckt.

Neben Temperaturmessung und pH-Wertfassung gibt es emaillierte Sonden für die Füllstandsmessung über Radarwellen sowie Grenzfüllstands-Sonden, die vorwiegend in Lagertanks und Vorlagen als Überfüllsicherung eingebaut werden. Sonden zur Messung der Leitfähigkeit des Produktes runden die Messtechnik im emaillierten Apparat ab.

Daneben sind Sonden zur Überwachung der Emaillierung im Angebot. Über spezielle Messalgorithmen wird zyklisch eine Prüfung der Emaillierung durchgeführt und ein Signal ausgelöst, sobald eine Schädigung festgestellt wird. Dies ist eine wichtige Sicherheitsfunktion, wenn man bedenkt, dass in emaillierten Apparaten selten „harmlose“ Produkte verarbeitet werden, von denen in der Regel ein hohes Gefährdungspotenzial ausgeht.

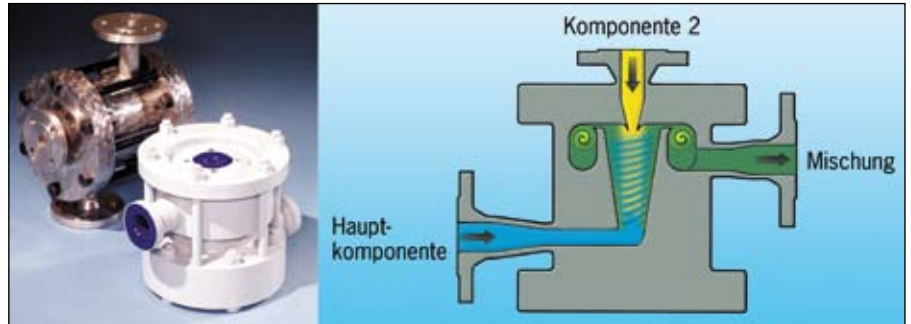


Abbildung 5: Emaillierte Mischkammer zur Dispersion von (korrosiven) Gasen in (korrosiven) Flüssigkeiten nach dem Prinzip der freien Turbulenz



Abbildung 6: Emaillierte Sonden für die Messung von pH-Wert, Leitfähigkeit, Temperatur, Füllstand, Probenahme sowie zur Überfüll-Absicherung

Wärme tauschen

Wärmetauscher sind, neben den Rührbehältern und den Tanks und Vorlagen, die am häufigsten eingesetzten verfahrenstechnischen Apparate. Trotz des weniger guten Wärmeübergangsverhaltens von emailliertem Stahl, beispielsweise im Vergleich zu Wärmetauschern aus Graphit oder teuren Sonderstählen, hat sich der emaillierte Wärmetauscher als Kondensator oder Verdampfer einen

festen Platz in der chemischen und pharmazeutischen Verfahrenstechnik gesichert. Hierfür sind insbesondere die gute Reinigbarkeit der emaillierten Oberfläche sowie die hohe chemische Beständigkeit des Emails ausschlaggebend. Neben Wärmetauscherelementen aus Technischem Email kommen heute auch solche aus Siliciumcarbid zum Einsatz, welches eine ausgezeichnete chemische Beständigkeit bei zugleich guter Wärmeleitfähigkeit bietet.

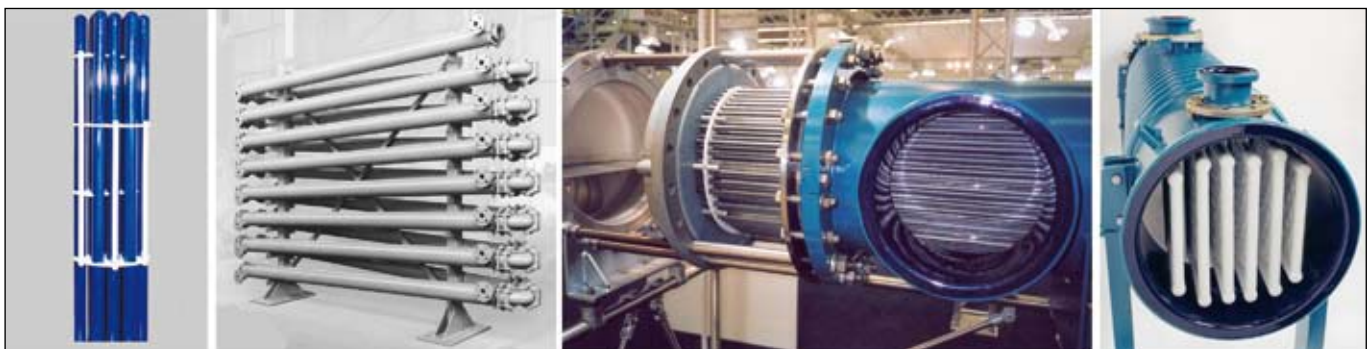


Abbildung 7: Verschiedene Ausführungen emaillierter Wärmetauscher



Abbildung 8: Dünnschichtverdampfer in Technischem Email; gezeigt ist der Einbau des Wischersystems aus elektrisch leitfähigem PTFE

Apparate für die Stofftrennung

Typische verfahrenstechnische Apparate zur Stofftrennung sind Dünnschicht-Verdampfer, Kolonnen, Filter und Trockner unterschiedlicher Bauform und Ausführung. Dünnschichtverdampfer arbeiten nach dem Prinzip einer hoch-effizienten Verdampfung aufgrund eines dünnen Flüssigkeitsfilms, der mit Hilfe von speziellen Wischersystemen auf einer beheizten, emaillierten Oberfläche verteilt

wird. Entsprechende Apparate werden in Verdampfungsprozessen extrem wärmeempfindlicher Stoffe in Chemie und Pharmazie eingesetzt.

Kolonnen werden heute in enger Abstimmung mit dem Kunden problemspezifisch entwickelt, konstruiert und gefertigt. Ein breites Anwendungsgebiet finden emaillierte Kolonnen sowie deren Einbauten aus Glas und anderen, hochbeständigen Werkstoffen, unter anderem in der Schwefelsäureaufbereitung.

Filter, Filternutschen und Filtertrockner sind ebenfalls in Ausführungen mit Technischem Email verfügbar. Neben der chemischen Beständigkeit sind es auch bei diesen Anwendungen besonders die guten Reinigungseigenschaften einer Emaillierung, die Technisches Email zum Werkstoff der Wahl werden lässt.

Schließlich wird Technisches Email erfolgreich bei Doppelkonustrocknern eingesetzt. Dabei ist die Emaillierung die Schutzschicht gegen Korrosion und Verschleiß, insbesondere so lange das zu trocknende Medium eine hohe Restfeuchte, und damit noch korrosive Eigenschaften hat. Schließlich ist auch die Reinigbarkeit gegenüber anderen Werkstoffen deutlich verbessert. Auch wenn die Temperaturen in solchen Trocknern prinzipiell eine chemisch weitgehend beständige Kunststoffauskleidung zu-

lassen würde, so wäre doch das Risiko der Ablösung der Beschichtung infolge des Vakuums im Trockner zu groß. Die stoffschlüssig mit dem Stahl verbundene Emaillierung ist dagegen unter allen Bedingungen vakuumfest.

Schlussfolgerungen

Komponenten und verfahrenstechnische Apparate aus Technischem Email sind ein wichtiger Bestandteil der chemischen und pharmazeutischen Verfahrenstechnik. Aufgrund ihrer herausragenden Eigenschaften bezüglich Korrosionsbeständigkeit, Oberflächengüte und universeller Verwendbarkeit sind sie vielfach nicht durch andere, vermeintlich „modernere“ Werkstoffe zu ersetzen. Wie gezeigt wurde, ist Technisches Email für eine Vielzahl verschiedenartiger Apertypen einsetzbar; aufgrund der Innovationsbereitschaft vieler Hersteller emaillierter Apparate ist sichergestellt, dass der Kunde immer einen optimalen Apparat erhält, der ideal auf die Belange des Verfahrens abgestimmt werden können. Einige Hersteller emaillierter Apparate und Komponenten bieten heute zudem auch Engineering-Dienstleistungen an, die die Konzeption, Planung, den Bau, die Aufstellung und die Inbetriebnahme eines Anlagenmoduls umfassen können.



Abbildung 9: Doppelkonustrockner und Filtertrockner in Technischem Email, speziell für die Trocknung von Wirkstoffen in der pharmazeutischen Fertigung

Wärmetechnik mit emaillierten Komponenten

von
Dipl.-Chem. Denis Blattner

Unter dem Begriff „Wärmetechnik“ wird hier der Wärmeaustausch zwischen zwei Flüssigkeiten oder Gasen (Fluids) verstanden. Ein Medium kühlt ab oder kondensiert, während das andere sich erwärmt oder verdampft. Das Prinzip der Energieübertragung mit emaillierten Komponenten wird hauptsächlich in zwei Fällen realisiert:

- Ein Prozessreaktor besteht aus einem Innenkessel umhüllt von einem Außenraum. Der Innenbehälter begrenzt das oft korrosive Prozessmedium, in dem die chemischen oder physikalischen Vorgänge, die von dem Benutzer gewünscht werden, ablaufen. Er kann mit oder ohne Rührmechanismus ausgerüstet sein und unter Vakuum, atmosphärischen Bedingungen oder Druck betrieben werden. Der Außenraum ist ein Doppelmantel oder eine Halbrohrschlange und enthält das „Service-Medium“ zur Kühlung oder Aufwärmung des Innenraumes.
- In dem emaillierten Wärmeaustauscher wird gezielt ein Prozessmedium durch die Anlage geführt, um es durch den Kontakt über eine emaillierte Trennwand mit dem Service-Medium abzukühlen oder aufzuwärmen.

Ähnlich wie beim Transport von elektrischem Strom, weisen die Werkstoffe für die Übertragung von Wärme einen Widerstand auf, und es wird grob zwischen Isolatoren und Leitern unterschieden. Der Wärmeaustausch über eine Wand wird von den Werten λ (Wärmeleitfähigkeit) in W/mK und k (Wärmedurchgangskoeffizient) in W/m²K bestimmt (**Bild 1**, **Tabellen 1 und 2**).

Im Falle von Prozess-Reaktoren werden emaillierte Rührwerksapparate wegen ihrer hervorragenden technischen Eigenschaften oft in der chemischen und pharmazeutischen Industrie eingesetzt. Das schwächere Wärmeleitvermögen der Emailschiicht wird akzeptiert. Trotzdem kann eine durchdachte wärmetechnische Auslegung auch in diesem Bereich die Leistung einer Anlage we-

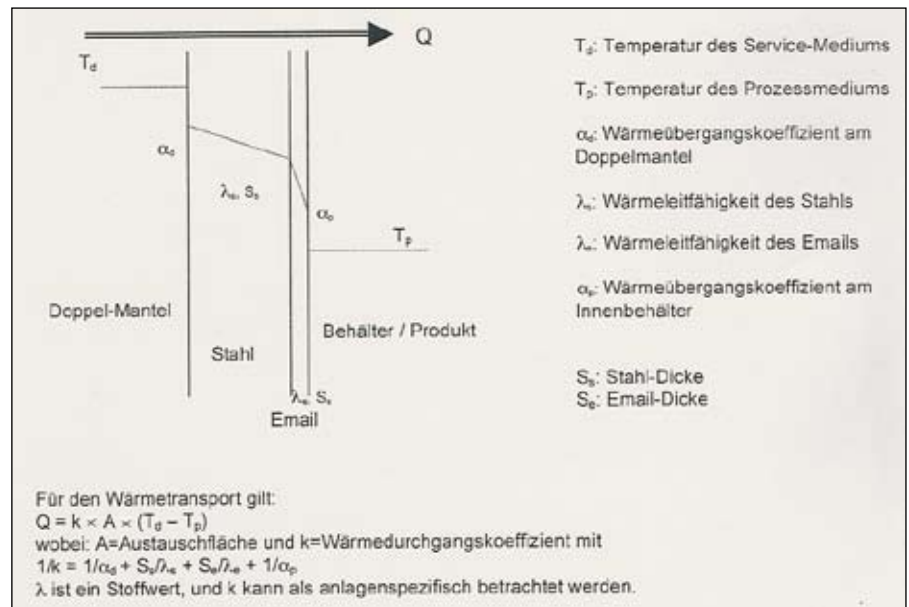


Bild 1: Wärmeübergang durch eine emaillierte Wand

Tabelle 1: Wärmeleitfähigkeit von Werkstoffen (aus VDI Wärmeatlas und Tabellenbüchern)

Tabelle 2: Wärmedurchgangskoeffizient von Apparaten

Für die Planung und Auslegung einer Produktionsanlage ist bei der Auswahl der Werkstoffe eine Vielzahl von Parametern von Bedeutung. Neben der mechanischen Festigkeit, der chemischen Beständigkeit, den Oberflächeneigenschaften, wie der Reinigbarkeit, der thermischen Stabilität und den Beschaffungs- sowie Betriebskosten gehört die Fähigkeit einer Wand, die Wärme zu leiten, zu den technischen Größen, die berücksichtigt werden.

Werkstoff	λ in W/mK
Email	1,163
Stahl	52
Austenitische Stähle	15
SiC	115 – 160
Graphit	100
Tantal	55
PTFE	0,23
PVDF	0,18

Apparat	k in W/m ² K
Prozess-Reaktor email.	450 – 480 entspr. Emailschiichtdicke
WT – emailliert	780
WT – SiC	1400

sentlich verbessern. Die Optimierung der Rührtechnik, der Einbau von Strömungsdüsen und eine mehrfache Energieschaltung, die Wahl zwischen Doppelmantel und Halbroherschlange oder sogar die Minimierung der Emailschichtdicke in weniger korrosiven Verfahren, wie z.B. bei Polymerisationskesseln, zeigen einen großen Einfluss, der gezielt genutzt werden kann.

In den letzten Jahren ist der Anteil der mit Halbroherschlange ausgerüsteten Apparate stark gewachsen. Die Fertigung ist auf Grund der Schweißnahtlänge des Halbrohres aufwändiger als beim üblichen Doppelmantel und hat einen entsprechenden Einfluss auf den Preis. Für Prozesse, bei denen die Wärmeübertragung eine wichtige Rolle spielt, bringt aber die Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeit in der Schlange kürzere Aufheiz- und Abkühlzeiten. Der Einsatz einer doppelgängigen Halbroherschlange ermöglicht durch getrennte Heiz- und Kühlkreise sowohl die Heizung wie die Kühlung des Apparates über die gesamte Bauhöhe. Ein weiterer Vorteil ist die Möglichkeit der Benutzung von Sattdampf bis über 30 bar und 235 °C zum Beheizen von Apparaten, ohne die Wanddicke des Innenkessels übermäßig erhöhen zu müssen. Als letzter Fortschritt in der Steuerung der Prozesse besteht seit kurzem die Möglichkeit des Einbaus emaillierter Heiz- oder Kühlorgane in den Behälter.

Bei Wärmeaustauschern konnte sich lange Zeit der Verbundwerkstoff Stahl-Email nur begrenzt durchsetzen. Wesentliche Fortschritte in der Technik des

Emaillierens in dünneren Schichten, in der Konstruktion der Apparate, bei der besseren Nutzung von Oberflächeneigenschaften, sowie die geringe Neigung zu Verkrustung und Anbackung haben aber in den letzten Jahren dem Email neue Türen geöffnet.

Neben den konventionellen Bautypen ist eine neue Generation von effizienteren emaillierten Wärmeaustauschern entstanden:

Das bewährte Prinzip des Koaxial-Wärmeaustauschers wurde emailtechnisch umgesetzt (**s. Bild 2**). Der Wärmeaustauscher dieses Typs zeichnet sich im Wesentlichen durch folgende Eigenschaften aus:

- Temperaturbereiche von -60°C bis 200°C und der Druckbereich bis zu 6 bar im Produkt- und Serviceraum. Optional sind Drücke bis 25 bar im Produktraum möglich, wodurch dieser Wärmeaustauscher auch in Hochdruck-Applikationen, z.B. bei Hydrierungen, eingesetzt werden kann
- Austauschflächen von ca. 2m² bis zu 37m² mit optimiertem Verhältnis von Austauschfläche zu Volumen
- Austauschbarkeit einzelner Austauscherrohre
- Totraumarme Abdichtung der Austauscherrohre gegen einen vakuumfest mit PTFE beschichteten Rohrboden
- Selbstnachstellende, patentierte, Abdichtung der Austauscherrohre zum Rohrboden zur Kompensation von Wärmedehnungen und dem möglichen Setzen von PTFE-Dichtungswerkstoffen

- Vermeidung von Gewinden im Produktraum (schlechte Reinigbarkeit)
- Spaltarme Gestaltung der Wärmeaustauschereinbauten zur optimalen Reinigung
- Gute Inspezierbarkeit durch Zugänglichkeit des Wärmeaustauscher-Produktraumes durch optionale Inspektionsöffnung mit eingeschmolzenem, dichtungsfreiem Schauglas
- Ausreichende Anzahl von Anschlüssen zur CIP(clean-in-place)-Reinigung (Spülen, Trocknen) des emaillierten Produktraumes des Wärmeaustauschers
- Vollständige Entleerbarkeit des Wärmeaustauscher-Innenraumes zur Vermeidung von Kreuz-Kontaminationen und zur Verbesserung der Reinigung
- Universelle Einsetzbarkeit als Verdampfer, Kondensator oder Flüssig-/Flüssig-Kühler/Heizer
- Modulares Baukastensystem zur flexiblen Anpassung der Gesamtkonstruktion an neue oder veränderte Prozessanforderungen
- Sicherheitsüberwachung zur kontinuierlichen Prüfung der Dichtheit des Rohrbodens anschließbar
- Saubere, eindeutige Trennung von Produktraum und Sekundärmedium (Heiz-/Kühlmedium), um Kontamination des Produktes sicher auszuschließen.

Für spezifische Anwendungen ist es sinnvoll, Wärmeaustauscher zu benutzen, in denen verschiedene Werkstoffe kombiniert sind, wie zum Beispiel Rohrwärmeaustauscher mit SiC-Rohren in einem emaillierten Mantel oder emaillierte Verdampfer mit einem Tantal-Heizer (**s. Bild 3**). Diese Typen von Wärmeaustauschern erlauben hervorragende Wärmeaustauschleistungen sowie optimale Betriebsmöglichkeiten, und reduzieren die Produktionskosten, da es z.B. möglich ist, korrosive Medien auf beiden Seiten der Austauschfläche zu benutzen.

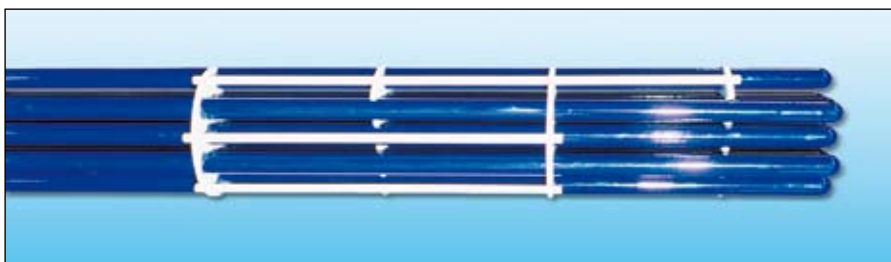


Bild 2: Koaxial-Wärmetauscher

Für Wärmeaustauscher ohne Metallwerkstoffe wurden neue Typen von emaillierten Kondensatoren mit Profilprägeplatten, welche die Anzahl der Verbindungen und dadurch der Dichtheitsschnittstellen erheblich reduzieren, entwickelt. Dieselbe Art von Profilprägeplatten kann auch in Rührbehälter eingebaut werden, um die Austauschfläche beträchtlich zu vergrößern (+60 bis +100%) (**Bild 4**).

Im Gegensatz zu Wärmeaustauschern mit Rohren aus Metallen oder mit organisch beschichteten Oberflächen waren bisher für U-Rohrwärmeaustauscher aus emaillierten Rohren Dichtungen für die Rohre im Lochboden notwendig.

Seit einigen Jahren ist es gelungen, dichtsichere U-Rohrwärmeaustauscher zu fertigen (s. **Bilder 4 und 5**). Hierbei werden die emaillierten Rohre im Bereich des Lochbodens geschliffen. Das Gleiche gilt für die innen emaillierten Löcher im Lochboden. Analog zu den emaillierten Rührorganen für BE-Apparate werden die Rohre in den Lochboden eingeschumpft. Diese Verbindung ist gegenüber Flüssigkeiten und Gasen absolut dicht, wie ein Heliumlecktest nachweist. Dadurch können Packungsdichten an Rohren realisiert werden, wie sie bei der Metallausführung vorhanden sind.

Die spezielle Anordnung der Rohre erlaubt ein selektives Austauschen einzelner U-Rohre, ohne alle U-Rohre vorher auszuschleppen. So ist bei einem Defekt eine kurze Reparaturzeit und damit eine schnelle Wiederverfügbarkeit möglich.

Bei der Wärmeübertragung mit dem Verbundwerkstoff Stahl-Email kommt die Besonderheit des Wärmedurchganges durch eine mehrschichtige Wand zum Tragen. Hierbei ist zur Erreichung eines hohen Wirkungsgrades der Wärmeübertragung die Wanddicke der Einzelwerkstoffe sowie deren spezifische Wärmeleitfähigkeit λ [W/mK] von entscheidender Bedeutung. **Grundsätzlich gilt:**

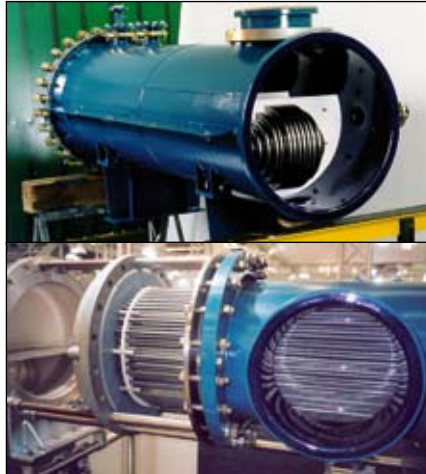


Bild 3: Wärmetauscher mit einer Kombination von Technischem Email und anderen Werkstoffen

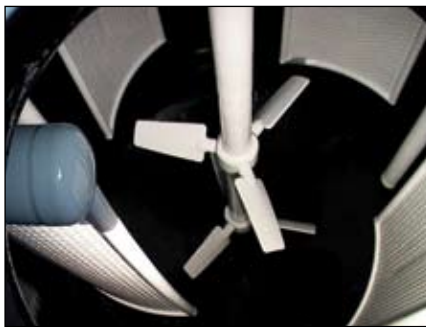


Bild 4: Ausführungen mit Profilprägeplatten



Bild 5: Rohrbündel eines U-Rohrwärmeaustauschers

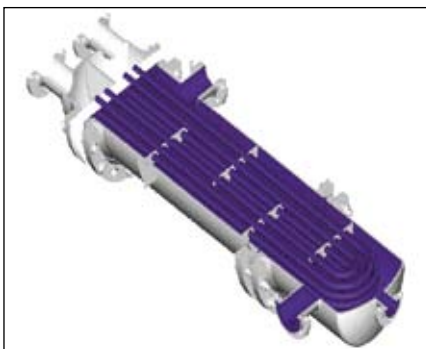


Bild 6: Schema eines U-Rohrbündel-Wärmeaustauschers

Dünnere Emailsichten – schnellerer Wärmeausgleich.

Mit modernen Emailauftragsverfahren ist man heute in der Lage, Emailsichtdicken von 500 bis 700 μm mit extrem homogener Gefügestruktur und sehr geringen Schichtdickeschwankungen zu erzielen, welche eine sehr effiziente Wärmeübertragung ermöglichen.

Zur Kompensation des Korrosionsabtrages der relativ dünnen Emailsichten gegenüber den traditionellen Emailsichtdicken von 1,5mm, wurden neue Rohrwerkstoffe als Basismaterial für die Emaillierung entwickelt. Diese sind in der Lage, mit Grundemails beschichtet zu werden, welche selbst schon eine hohe chemische Korrosionsbeständigkeit aufweisen. Im Verbund sind diese emaillierten Rohre bezüglich des chemischen Korrosionsverhaltens solchen mit traditionellen Emailsichtdicken ebenbürtig. So hergestellte Wärmeaustauscherrohre besitzen zusätzlich die Eigenschaften, dass diese bis zur $\sigma_{0,2}$ -Grenze des Basisrohres belastet werden können, ohne Entstehung von Emailschäden.

Die Ergebnisse von Versuchen zeigen, dass sich die erforderliche Wärmeaustauschfläche bei traditionell emaillierten Rohren im Vergleich zu dünnschichtemaillierten Rohren um ca. 40 % größer ist. Gleichzeitig beträgt der Unterschied von emaillierten Rohren mit reduzierter Schichtdicke nur ca. 5% im Vergleich zur Edeldstahlausführung. Der Wärmedurchgangskoeffizient k berücksichtigt dabei alle Teilübertragungsvorgänge, welche durch die verwendeten Werkstoffe, Wanddicken sowie Fluidparameter und deren Aggregatzustand auftreten.

Technisches Email in der Pharma-Produktion

von

Dr.-Ing. Jürgen Reinemuth

Emaillierte Apparate und Anlagen sind aus der pharmazeutischen Verfahrenstechnik nicht wegzudenken. Die universelle chemische Beständigkeit des Werkstoffverbundes Stahl-Email, in Verbindung mit der optimalen Reinigbarkeit, sind die Hauptgründe, warum emaillierte Komponenten hier einen festen Platz einnehmen.

In der Vergangenheit setzen die Anlagenbetreiber in der Regel handelsübliche, nach den umfangreichen DIN-Normen der emaillierten Apparatechnik ausgeführte Standardapparate und Komponenten auch für die Herstellung von Wirkstoffen ein. Erst in den letzten Jahren wurde seitens der Hersteller emaillierter Apparate ein wahres Feuerwerk an Innovationen rund um die emaillierte Pharma-Anlage gezündet.

Die Schwerpunkte der Innovation lagen dabei auf folgenden Aspekten:

- Optimierte Emaillierungen: Spezielle Technische Emails, die sich von Standard-Chemie-Emails teilweise erheblich in der Beständigkeit, chemischen Zusammensetzung und Farbe unterscheiden.
- Reduzierung der Toträume an emaillierten Stutzen und Anschlüssen: Dazu zählen beispielsweise konstruktive Lösungen im Bereich des Rührwerkstutzens mit der Verwendung von speziellen Steril-Gleitringdichtungen, die Reduzierung von Stutzenradien bei Rohrleitungen, Eliminierung von Flanschdichtungen durch neuartige Konstruktionsprinzipien, optimierte Bodenauslaufarmaturen etc.
- Komponenten für die pharmagerechte Reinigung, wie zum Beispiel Schnellverschlussdeckel, optimierte Deckel für den Einbau von Reinigungssystemen und Sprühlanzen, bis hin zur Validierung von Reinigungsprozessen beim Apparatehersteller.

- Äußere Sauberkeit: Ausführung von Apparaten und Komponenten aus emailliertem Edelstahl, Schnellverschlüsse aus emailliertem Edelstahl, Voll und dicht verschweißte Isolation der Apparate, Einhausung von Antrieben mit Fremdbelüftung. Auf einige der genannten Beispiele wird im Folgenden eingegangen.

Pharma-optimierte Emaillierungen

Einige Hersteller emaillierter Apparate bieten heute Emails an, die speziell für die Anwendung in Pharma-Prozessen optimiert sind. In pharmazeutischen Anwendungen werden dabei Emails mit heller Farbe, also weiß und neuerdings auch hellblau, bevorzugt. Untersuchungen hatten vor der Entwicklung eines speziellen hellblauen Pharma-Emails gezeigt, dass in der pharmazeutischen Verfahrenstechnik hellblaue Produkte und Medien so gut wie nie vorkommen, so dass ein guter farblicher Kontrast zwischen Email und Produkt gewährleistet ist. Darüber hinaus stellt eine

helle Farbe eine gute Ausleuchtung des Behälterinhaltes sicher und erleichtert die visuelle Prozesskontrolle. Neben der Farbe als augenscheinlichem Merkmal, weisen einige moderne Pharma-Emails darüber hinaus nochmals verbesserte Oberflächeneigenschaften und die Freiheit von Schwermetallen auf. Um bei der Reinigung mit alkalischen Medien bei höheren Temperaturen keinen unerwünschten Emailabtrag zu bewirken, wurde das Pharma-Email zusätzlich hinsichtlich der chemischen Beständigkeit im alkalischen Bereich optimiert.

Reduzierung der Toträume

Der emaillierte Rührbehälter als Hauptkomponente in den meisten verfahrenstechnischen Prozessen der Wirkstoffproduktion kann an vielen Stellen „pharmagerecht“ optimiert werden. Da die Bereiche der Abdichtungen, wie auch oben schon bei den Rohrleitungen beschrieben, die kritischsten sind im Hinblick auf Reinigung, Toträume, Einlagerung von Produktresten und Verbleib von Rück-



Abbildung 1: Emaillierte Apparate in der Wirkstoffproduktion



Abbildung 2: Verschiedene Bauteile, emailt mit Pharma-Emails

ständen, wurde dort naturgemäß am meisten optimiert. Nach dem Grundsatz: „Die beste Dichtung ist keine Dichtung“ wurden Apparate mit kleinen Füllvolumina ohne Hauptflanschabdichtung entwickelt. Ein typisches Beispiel ist der BE 630 Rührbehälter, der die BE-Baureihe nach DIN 28136 weit nach unten fortsetzt. Beim BE-Behälter ist die größte Öffnung die Mannlochöffnung, die naturgemäß eine geringere Dichtungsänge aufweist wie die Hauptflanschverbindung eines gleich großen AE-Behälters nach DIN 28136. Ein weiteres Beispiel, Dichtungsänge zu verkürzen, indem auf Dichtungen verzichtet wird, sind die einemailierten Schauglaseinheiten, wie sie mehrfach angeboten werden. Dabei wird ein Schauglas druckdicht und dichtungsfrei mit der Emailierung des Mannlochdeckels verschmolzen; es entsteht

ein tottraumfreies Schauglassystem. Um den reinigungskritischen Bereich zwischen den in Behälterstutzen eingebaute Stromstörer zu vermeiden, werden heute zudem auch emailierte Behälter angeboten, bei denen die Stromstörer mit der

Behälterwand verschweißt und rundum emailiert sind.

Als weiteres Beispiel soll die Optimierung des Rührwerkstutzens dargestellt werden. Während Gleitringdichtungen nach DIN 28138-2 viele, schlecht zugängliche Toträume und Hinterschneidungen aufweisen, konnte durch die Entwicklung eines Blockflanschanschlusses in Verbindung mit einer Steril-Gleitringdichtung dieser Bereich wesentlich „entschärft“ werden, was die Reinigbarkeit angeht. Aufgrund des Konstruktionsprinzips der Gleitringdichtung werden Hinterschneidungen sicher vermieden. Darüber hinaus kann durch Einsatz von gasfilmgeschmierten Gleitringdichtungen auch das Risiko der Kontamination des Produktes durch Dichtungsabrieb minimiert werden.

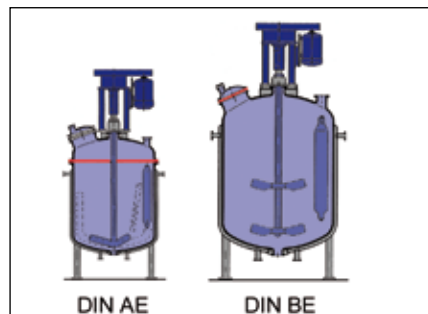


Abbildung 3: Rührbehälter der Bauformen DIN AE und DIN BE (Bezeichnungen nach DIN 28136). Rot gekennzeichnet ist die jeweils größte Dichtung des Apparatetyps

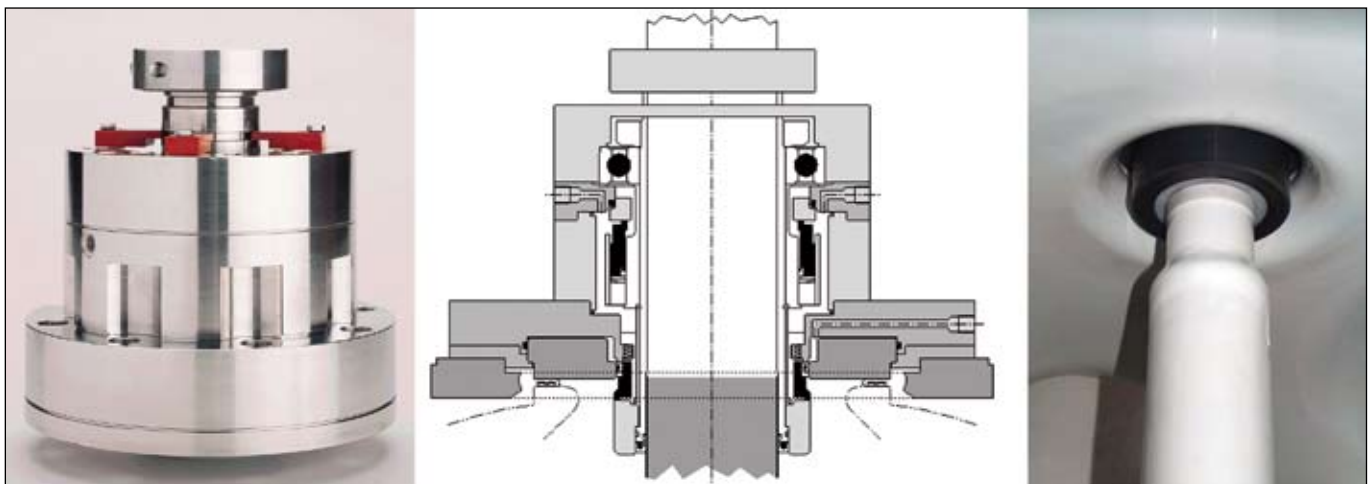


Abbildung 4: Gleitringdichtung und Rührwerkstutzen in Steril-Ausführung

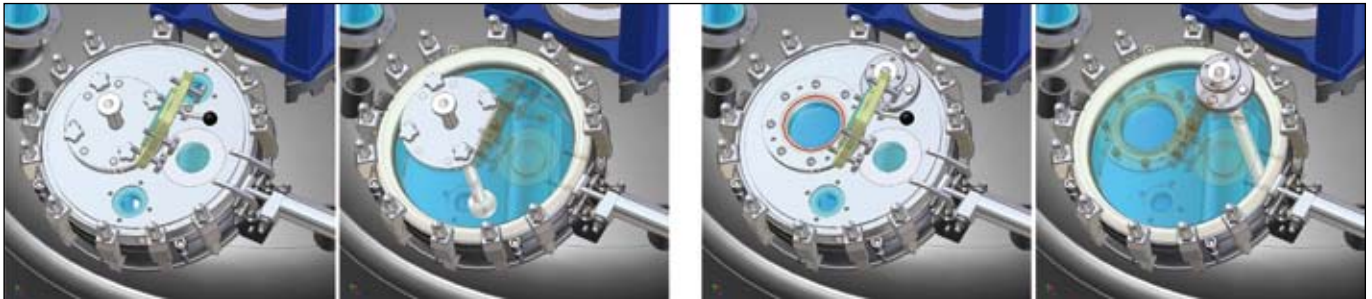


Abbildung 5: Mannlochdeckel mit eingesteckter Reinigungslanze (li.) oder mit zusätzlichen Stützen für fest installierte Reinigungsdüsen und Sprühköpfe (re.)

Pharmagerechte Reinigbarkeit

Die Reinigung emaillierter Apparate muss in der pharmazeutischen Produktion sicher und reproduzierbar sein. Das Technische Email ist aufgrund seiner hervorragenden Oberflächeneigenschaften sicherlich der Werkstoff der Wahl, um optimale Reinigungsergebnisse zu erzielen. Darüber hinaus steht eine Reihe von Komponenten zur Verfügung, um die Reinigung im Apparat so einfach und sicher wie möglich zu machen. Genannt seien zum Beispiel einsteckbare Reinigungslanzen, die auf Schnellöffnungsdeckeln installiert werden können, oder Reinigungslanzen in speziell dafür vorgesehenen Stützen, die vorzugsweise auf dem Mannlochdeckel vorgesehen werden.

Äußere Sauberkeit

Schließlich ist es auch die „äußere Sauberkeit“, die charakteristisch ist für hochmoderne Pharma-Anlagen. Äußere Sauberkeit ist jedoch kein Wert für sich, sondern sollte gepaart sein mit handfestem Zusatznutzen für den Betreiber. So ist beispielsweise die werkseitig dichtgeschweißte Voll-Isolierung von emaillierten Apparaten heute Stand der Technik. Für universelle Anwendungen in einem weiten Temperaturbereich kommen Isolierungen aus Schaumglas zum Einsatz, während Apparate, die vorwiegend warm betrieben werden, mit Glaswolle isoliert werden. Die Isolierung führt zu signifikanten Kosteneinsparungen beim

Betrieb der Apparate und verhindert zudem äußere Korrosion und sieht zusätzlich noch „schön aus“. Zur gleichen Kategorie zählen auch Vollverkleidungen von Antrieben. Neben dem homogenen optischen Erscheinungsbild ist es das Verhindern der Kontamination des Raumes durch Abrieb und Verschleißpartikel des Antriebes oder auch einfach nur die gezielte Abfuhr von Verlustwärme des Elektromotors.

Eine weitere Alternative ist das Verwenden von Bauteilen in emailliertem Edelstahl. So werden in einigen Fällen Mannlochdeckel oder die flachen Deckel von kleineren Apparaten aus emailliertem Edelstahl realisiert. Der emaillierte Edelstahl sieht nicht nur gut aus, sondern verhindert auch wirksam, dass sich ablösende Farbpartikel beim Öffnen und Schließen des Mannloches in den Apparat fallen und so das darin verarbeitete Produkt kontaminieren könnten. Im Extremfall kann der ganze Apparat aus emailliertem Edelstahl hergestellt wer-

den, was aber mittels einer gut ausgeführten Ganz Isolierung des Apparates in vielen Fällen nicht notwendig ist.

Fazit

Es ist zu erwähnen, dass die beschriebenen Lösungen in fast allen Fällen nicht in Normen und Richtlinien, allenfalls in herstellerspezifischen Konzepten, standardisiert sind. Somit sind die dargestellten Lösungen zum Teil herstellerspezifisch und unterscheiden sich je nach expliziter Anforderung der Kunden zum Teil stark voneinander. Die Beispiele zeigen jedoch, wie flexibel heute Hersteller emaillierter Apparate und Komponenten sind, wenn es darum geht, für die speziellen Anforderungen, die die Produktion pharmazeutischer Wirkstoffe mit sich bringt, optimale technische Lösungen zu realisieren. Der Kunde kann heute aus einer Vielzahl von Konzepten und Detaillösungen diejenigen auswählen, die optimal in sein GMP-Konzept passen.



Abbildung 6: Voll isolierter Rührbehälter mit Einhausung des Antriebes sowie Mannlochdeckel aus emailliertem Edelstahl

Spezielle Anwendungen von Technischem Email

von
Dipl.-Ing. Franz-Josef Behler

Neben den traditionellen Einsatzgebieten Chemieanlagenbau, Pharmazie und Wasserversorgung findet das Technische Email im Allgemeinen Anlagen- und Maschinenbau seine Anwendung. Überall dort, wo eine ausgeprägte Resistenz gegen die unterschiedlichsten aggressiven Medien, auch bei hohen Prozesstemperaturen und -drücken, in Verbindung mit der mechanischen Festigkeit gefordert ist, kann Technisches Email ein Werkstoffsystem erster Wahl sein.

Das Emaillieren selbst ist aus werkstoffkundlicher Sicht ein klar beschreibbarer und steuerbarer Prozess. Die physikalischen und chemischen Zusammenhänge sind bekannt und bieten generell ein breites Feld an Möglichkeiten, das Zusammenspiel zwischen Grundwerkstoff und oberflächenbestimmendem Email optimal auf vorliegende Belastungsbedingungen abzustimmen. Die mechanischen Grenzen des Werkstoffsystems sind bekannt und sicher kalkulierbar – eine mögliche Angst vor „Spontanabplatzungen“ resultiert in der Regel aus der fehlenden Kenntnis über die Zusammenhänge.



Bild 1: Hochsäurefest emaillierte Komponente eines Kugelventils aus Nickelbasislegierung HC 22

Der Einsatz emaillierter Komponenten im Maschinen- und Anlagenbau findet seine Grenzen dort, wo mit dem mechanischen Versagen des Werkstoffverbundes gerechnet werden muss oder dort, wo die Korrosionsresistenz gegenüber spezifischen Medien, besonders im stark basischen Bereich, eingeschränkt ist. In vielen Fällen aber wird die Verwendung emaillierter Komponenten bereits im Vorhinein aufgrund fehlender oder mangelhafter Kenntnis der werkstoffmechanischen Zusammenhänge bei emaillierten Bauteilen ausgeschlossen.

Nachfolgend sollen einige Beispiele aus Randbereichen dargestellt werden, bei denen Lösungen durch geeignete Einstellung des Emails in Verbindung mit konstruktiven und werkstoffseitigen Anpassungen der Komponenten realisiert werden konnten.

Emaillieren von Nickelbasislegierungen (Brennkammer, Kugelventil)

Nickelbasislegierungen werden im Apparatebau vorwiegend aufgrund ihrer hohen Korrosionsbeständigkeit in Verbindung mit der In-situ-Schweißbarkeit bzw. Verformungsmöglichkeit eingesetzt. Bei hohen Temperaturen und großen mechanischen Belastungen ist jedoch eine ausgesprochene Empfindlichkeit gegenüber Spannungsriss- und/oder interkristalliner Korrosion zu beobachten.

Spezielle Hochtemperaturemails finden beim Emaillieren von Komponenten aus Nickelbasislegierungen ihre Einsatzgrenzen erst im Bereich von annähernd 1000°C. Drallkörper in Brennkammern sind für diesen Einsatzbereich erfolg-

reiche Beispiele. Neben dem Schutz vor Korrosion wird durch die Emaillierung darüber hinaus verhindert, dass sich Crackprodukte aus Verbrennung oder Pyrolyse an den Flächen der Drallkörper anlagern und nach der Agglomeration schlagartig ablösen, explosionsartig verbrennen und dadurch zu einer kurzzeitigen Überhitzung der Brennkammer führen. Die Überhitzung führt zur Überlastung des Systems und möglicherweise zur Notabschaltung des Anlagenteils. Die Emaillierung stellt so eine Vergleichmäßigung der Verbrennungsprozesse und damit eine Reduzierung von Abschaltvorgängen bzw. Betriebsunterbrechungen sicher.

Kugelventile aus Nickelbasislegierungen HC 22 sind im Bereich der konstruktiven Spalte und in Bereichen erhöhter Abrasion trotz der moderaten Prozesstemperatur von maximal 100 °C korrosionsgefährdet. In diesem Fall wird durch ein Emaillieren mit hochsäurefestem Email eine wesentliche Verbesserung der Standzeit und damit der Prozesssicherheit erreicht. Funktionsbedingt müssen besondere Anforderungen an die Gleichmäßigkeit der Schichtdicke, an die Dichtheit der Emaillierung sowie an die Einhaltung der engen Toleranzen reproduzierbar erfüllt werden.

Technische Emaillierung im Maschinenbau (Löttechnik, Wellendichtring)

In der Löttechnologie (Wellen- und Selektivlötverfahren) der Elektronikindustrie werden durch die Umsetzung der EU-Richtlinie 2002/95/EG sowie der abgeleiteten Vorschriften der RoHS-Direktive (Restriction of Hazardous Substances),

künftig ausschließlich bleifreie Lote einsetzen zu dürfen, neue, erhöhte Anforderungen an die medienführenden Werkstoffoberflächen der entsprechenden Anlagenkomponenten gestellt.

Bleifreie, Sn-Ag-Cu-basierte Lote fordern höhere Prozesstemperaturen als bleihaltige und reagieren wesentlich korrosiver auf die bisher eingesetzten hochwertigen Chromnickelstähle. Durch den Einsatz einer speziell auf diesen Anwendungsfall optimierten Emailqualität in Verbindung mit konstruktiven, emailspezifischen Optimierungsschritten werden die relevanten Schadensmechanismen ausgeschlossen.

Technisches Email schützt den Grundwerkstoff gegen metallurgische Wechselwirkungen (Ablegierung von Chrom und Nickel, Bildung spröder intermetallischer Phasen) und gegen Strömungserosion in exponierten Bereichen (Düsenysteme, Lotwellenpumpen, Lotschächte). Örtliche, kurzzeitige Temperaturspitzen von über 400°C werden von der Emaillierung ebenso ertragen wie daraus resultierende erhöhte Thermoschockbeanspruchungen.

Wellendichtringe finden als gummielastische Lippendichtungen in vielen Bereichen des Maschinen- und Anlagenbaus in radialer oder axialer Ausführung ihren Einsatz. Sie dichten üblicherweise statische Gehäuse gegen rotierende oder auch oszillierende Wellen und Naben ab. Drehzahl und Umfangsgeschwindigkeit, Exzentrizität, Koaxialitätsabweichung und die Reibungsparameter (Oberflächengüte und -härte, Spaltgeometrie, Umgebungsmedium, Temperatur) Dichtlippe/Welle bestimmen das Verschleißverhalten und damit die Lebensdauer des Systems.

Emaillierte Dichtflächen beeinflussen die Reibungsparameter durchgängig posi-



Bild 3: Stirnseitig emaillierte Nabe (Durchmesser ca. 30 mm), feingeschliffen und poliert als Funktionsmuster für eine axiale Wellendichtung



Bild 2: Laufrad einer Radialpumpe für den Einsatz in einer Wellenlötanlage, Durchmesser ca. 80 mm

tiv. Oberflächenrauheit und -härte, aber auch die Oberflächenenergie qualifizieren Technisches Email für den Einsatz auch unter schwierigen Umgebungsbedingungen.

Technisches Email in Elektronik sowie Mess- und Regeltechnik

Eine Fragestellung bei der Gestaltung von Dichtungssystemen ganz anderer Art tritt auf, wenn Durchführungen beispielsweise für Leitungen und Verkabelungen von Sensoren, Mess- und Regelgeräten oder Antrieben durch Behälter- oder Rohrwände erstellt werden müssen, in denen korrosive Medien unter teilweise erhöhten Temperaturen und Drücken transportiert oder gelagert werden. In Fällen, in denen elastomere Dichtelemente aufgrund der Umgebungsatmosphäre nicht eingesetzt werden können, haben sich Metall- auf Metallabdichtungen als Lösung bewährt.

Die Einschränkung von solchen Metall-/Metallabdichtungen liegt jedoch in der Tatsache, dass sie naturgemäß stets auch zu einer elektrischen Kontaktierung der Baugruppen führen würden, was je nach Funktionsweise ausgeschlossen werden muss. Die Realisierung einer temperaturresistenten, chemisch beständigen und druckfesten Durchführung, die es erlaubt, elektrische Signale zu leiten, stellt damit eine erhebliche technische Herausforderung dar. Diese wird in Fällen verschärft, in denen elektrische Signale sehr hohe Frequenzen, wie z.B. im Mikrowellenbereich, übertragen werden müssen, da solche Signale bei Fehlern in der konstruktiven Auslegung der Durchführung komplett reflektiert werden. Eine exakte Abstimmung der geometrischen mit den elektrophysikalischen Parametern (z.B. Dielektrizitätskonstante) der Durchführung des Isolators ist hier unabdingbar.

Ein konkretes Beispiel stellt ein neuartiger Konzentrationssensor für die Prozessmesstechnik dar, der auf der exakten Vermessung der Mikrowellen-Resonanzfrequenz eines im Prozessmedium eingetauchten Sensorkopfes beruht. Um diesen Sensorkopf auch in Anwendungsgebieten einsetzen zu können, in denen die konventionellen, isolierenden Dichtmaterialien aus Gründen der chemischen Beständigkeit oder hohen Prozesstemperaturen versagen, wurde eine Emailldurchführung entwickelt, die allen geschilderten Ansprüchen gerecht wird.

Weitere hochwertige Sensoren im Anlagenbau für Messung, Steuerung und Regelung von Prozessen oder Prozessschritten bei hohen Temperaturen und korrodierender Atmosphäre werden emailliert ausgeführt. Temperaturmesseinheiten werden beispielsweise in Form von PT-100-Elementen in Stromstörer, Bodenauslaufventile oder in der emaillierten Behälterwand integriert eingebaut, pH-Wert-Sonden, Radar-Füllstandsmesssonden und Leitfähigkeitssensoren in emaillierter Ausführung finden ihre Anwendung bei der Installation in Lager- und Reaktionsbehälter.

Emaillierte Rohre für die Rauchgasreinigung

Beim Betrieb konventioneller Kraftwerke, in der Müll- und Sondermüllverbrennung und allgemein überall dort, wo eine Rauchgasreinigung stattfindet, stellt der Wärmeaustausch einen wesentlichen Schritt des gesamten Prozesses dar. Die zum Teil hochkorrosiven Eigenschaften der zu kühlenden Gase mit folgenden typischen Eckdaten

- Temperatur: 150 °C
- HCl: 5 mg / Nm²
- SO_x: 30 mg / Nm³
- HF: 0,5 mg / Nm³

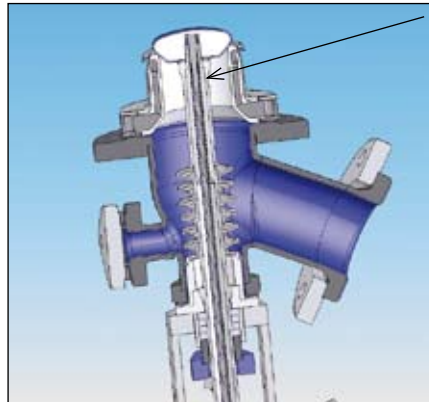


Bild 4: Temperaturmessung mit PT-100-Element (Pfeil) in einem Bodenauslaufventil neuer Bauart mit minimierter Totraumgeometrie; das Element ist während des Betriebs auswechselbar

erfordern für die produktberührten Komponenten der Anlagen den Einsatz chemisch hochbeständiger Werkstoffe. Traditionell werden korrosionsresistente, temperaturbeständige Kunststoffe – z.B. verschiedene PTFE-Qualitäten – oder hochwertige Metall-Werkstoffe (Nickelbasislegierungen, Titan) sowie Packungen aus gewellten emaillierten Stahlblechen verwendet.

Die vor wenigen Jahren entwickelte und mittlerweile eingeführte Technologie, Rohre in einem kontinuierlichen Verfahren endlos mit einem hochresistenten Email zu beschichten, bietet eine neue interessante Alternative. Bis zu 12 m lange Rohre mit Durchmessern von 18 bis 30 mm und Wanddicken zwischen 1,5 und 3,0 mm werden hier eingesetzt. Die Verwendung eines speziell entwickel-



Bild 5: Technisches Email als optimales Beschichtungssystem für die Rohrbündel eines Wärmeaustauschers in einer Hausmüllverbrennungsanlage

ten und abgestimmten resistenten Direktemails, die besonders blasenarme Emaillierung durch das angewendete PUESTA-Verfahren (pulverelektrostatischer Auftrag), die extrem gleichmäßige Schichtdicke und nicht zuletzt die 100 %ige, integrierte Prüfung auf Fehlerfreiheit erlauben eine Reduzierung der Beschichtungsdicke auf 0,4 – 0,6 mm. Zielrichtung ist die Optimierung des Wärmeaustauschers bezogen auf Betriebsleistung und Lebensdauer.

Die mit dieser Technologie ausgerüsteten hochmodernen Anlagen weisen günstige Preis-/Leistungsverhältnisse und hohe Standzeiten auf.

Das Einsatzfeld der Technischen Emaillierung ist nicht auf die traditionelle Anwendung im Chemieanlagenbau beschränkt. Vielmehr verfügt dieses Werkstoffsystem über ein breites Potenzial im Maschinen- und Anlagenbau sowie in der Elektronikindustrie. Wie bei allen technischen Werkstoffen werden Einsatz- und Anforderungsprofil auf der einen Seite mit dem Leistungsvermögen auf der anderen Seite in Übereinstimmung gebracht – durch die konstruktive und werkstoffseitige Optimierung zugunsten einer überzeugenden Gesamtlösung.



Bild 6: Flansch und Rohrende einer Sterilver-schraubung in emaillierter Qualität, Grundwerkstoff nichtrostender Edelmetalle

Ökologische und ökonomische Aspekte zur Oberflächenveredelung

von
Dr. Jörg Wendel

Einleitung

Ein verantwortungsvolles Handeln mit den Grundstoffen unserer Natur fordert Verschmutzungen des Wassers, der Luft oder des Bodens zu unterbinden. Die ideale Form des Umweltschutzes ist, Emissionen vollständig zu vermeiden. Ein solcher Ansatz kann natürlich nicht im Alleingang eines Landes geschehen und auch wirtschaftliche Aspekte müssen beachtet werden.

Bei der dritten Konferenz (Dez. 1997) der beteiligten Parteien einigte man sich auf das bekannt gewordene Kyoto-Protokoll. Der Beschluss der beteiligten Länder legt fest, dass die sechs Treibhausgase um mindestens 5% reduziert werden müssen. Dabei gibt es Länder, wie Australien (+8%) und Norwegen (+1%), die ihre Emissionen noch erhöhen dürfen, während die anderen Länder ihre Emissionen stabilisieren (Russland, Ukraine, Neuseeland) oder senken sollen: Kanada, Ungarn, Japan und Polen um 6%, USA 7%, Schweiz 8% [1]. In der EU gibt es eine weitere Untergliederung: Portugal (+27%), Griechenland (+25%), Spanien (+15%), Irland (+13%), Schweden (+4%), Finnland und Frankreich (0%), Niederlande (-6%), Italien (-6,5%), Belgien (-7,5%), England (-12,5%), Österreich (-13%), Dänemark und Deutschland (-21%) sowie Luxemburg (-28%) [2]. Die Ziele werden mit dem Durchschnitt der Jahresergebnisse von 2008 bis 2012 überprüft. Sichtbare Ergebnisse werden ab 2005 erwartet. Das Protokoll wurde inzwischen von über 70 Ländern ratifiziert.

Ein weiteres zentrales Abkommen wurde 1999 in Göteborg vereinbart: erstmalig werden anstelle nur eines Schadstoffes die Auswirkungen von Schwefel- und Stickstoffverbindungen sowie von flüchtigen organischen Verbindungen (VOC) und Ozon im Zusammenhang betrachtet. Drei Problemfelder werden betrachtet [3]:

- die Bildung von bodennahem Ozon durch Ozon-Vorläufersubstanzen (Stickstoffoxide und flüchtige organische Verbindungen). Bis 2010 soll in Europa eine Reduktion von 49% bei

Stickstoffoxiden und 57% bei VOC's erreicht werden

- die Versauerung von Böden und Gewässern durch Stoffe, die zur Versauerung der Niederschläge (SO_2 , NO_x , Ammoniumsalze aus NH_3 gebildet) beitragen. Hier ist man bis 2010 in Europa eine Reduktion um 75% bei Schwefeldioxid und 15% bei Ammoniak (Vorläufer für die Ammoniumverbindungen) zu erreichen.
- die Eutrophierung (Nährstoffanreicherung) durch atmosphärischen Stickstoffeintrag (NO_x , NH_3).

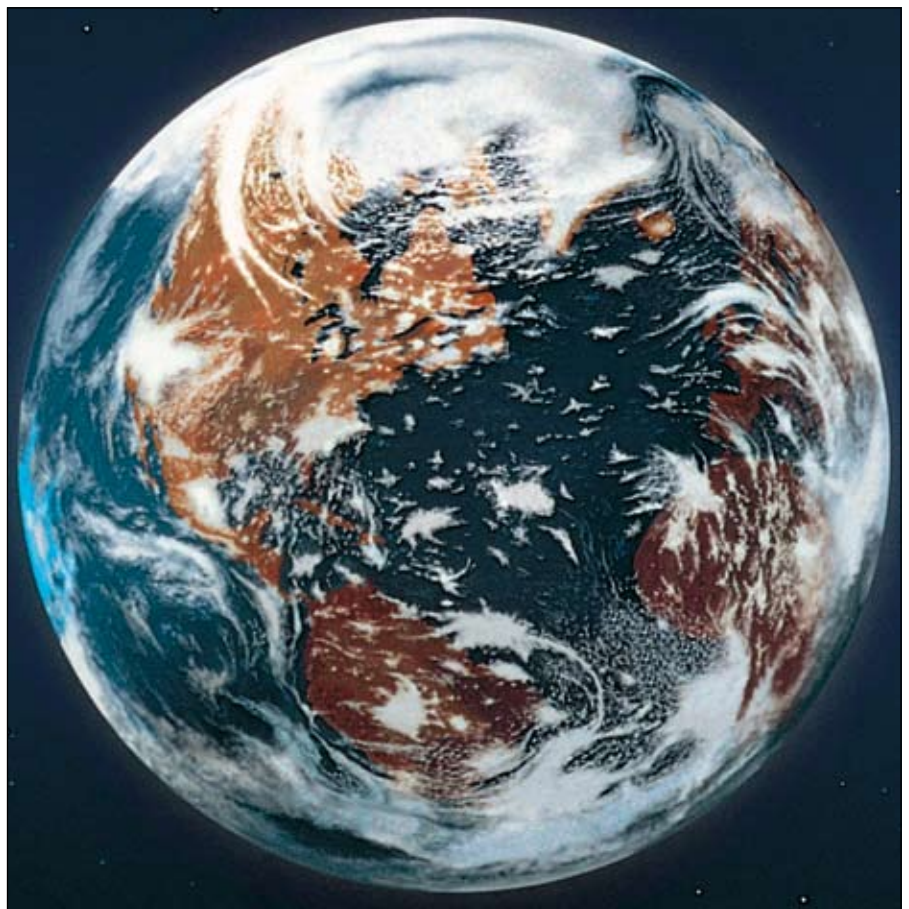


Abb.1: Luftströmungen kennen keine Landesgrenzen – gemeinsames Handeln ist gefordert

Lokale Größenordnung der Problematik

In der Bundesrepublik Deutschland wurden im Jahr 2002 1.479.000 Tonnen [4] NMVOC (flüchtige Kohlenwasserstoffe ohne Methan) freigesetzt; ca. 64 % davon stammen aus dem produzierenden Gewerbe. Allein in den beiden Kantonen Basel wurden im Jahr 2000 5.516 Tonnen [5] Lösungsmittel in die Atmosphäre freigesetzt. In Österreich betragen die Lösungsmittlemissionen in Jahr 2000 insgesamt 67.879 Tonnen [6].

Die in der Troposphäre als primäre Emissionen vorliegenden, leichtflüchtigen organischen Verbindungen gehen sehr komplexe photochemische Umwandlungsreaktionen ein und setzen so zahlreiche sekundäre Luftverunreinigungen frei [7]. Lösungsmittel, die in die Atmosphäre gelangen, sind eine der wesentlichen Ursachen des Sommersmogs [8,9]. Seltener als dieser Photosmog, aber bekannter, ist der Wintersmog, eine stark erhöhte Luftschadstoffkonzentrationen über dicht besiedeltem Gebiet infolge besonderer meteorologischer Bedingungen. Generell tritt dieser Smog nur in windschwachen Lagen auf. Auch eine ungünstige Topographie (Tal-, Kessellage) fördert die Entstehung von Wintersmog. Die Mischung aus Rauch (Ruß, Schwefeldioxid, Staub) und Nebel kann sich unter ungünstigen Bedingungen lange über einer Stadt halten und ist meist gesundheitsschädlich.

Email enthält keinerlei organische Lösungsmittel und trägt daher bei der Oberflächenveredelung zur Reinhaltung der Luft bei. Bei der Verwendung von Email wird die ideale Form des Umweltschutzes befolgt: alle Emissionen, die das Göteborg-Protokoll betrachtet, werden vermieden – besser geht es nicht. Auch ökonomisch braucht Email den Vergleich zum Lack als Alternative nicht zu scheuen. Die Herstellkosten sind stets in vergleichbarer Höhe [10].

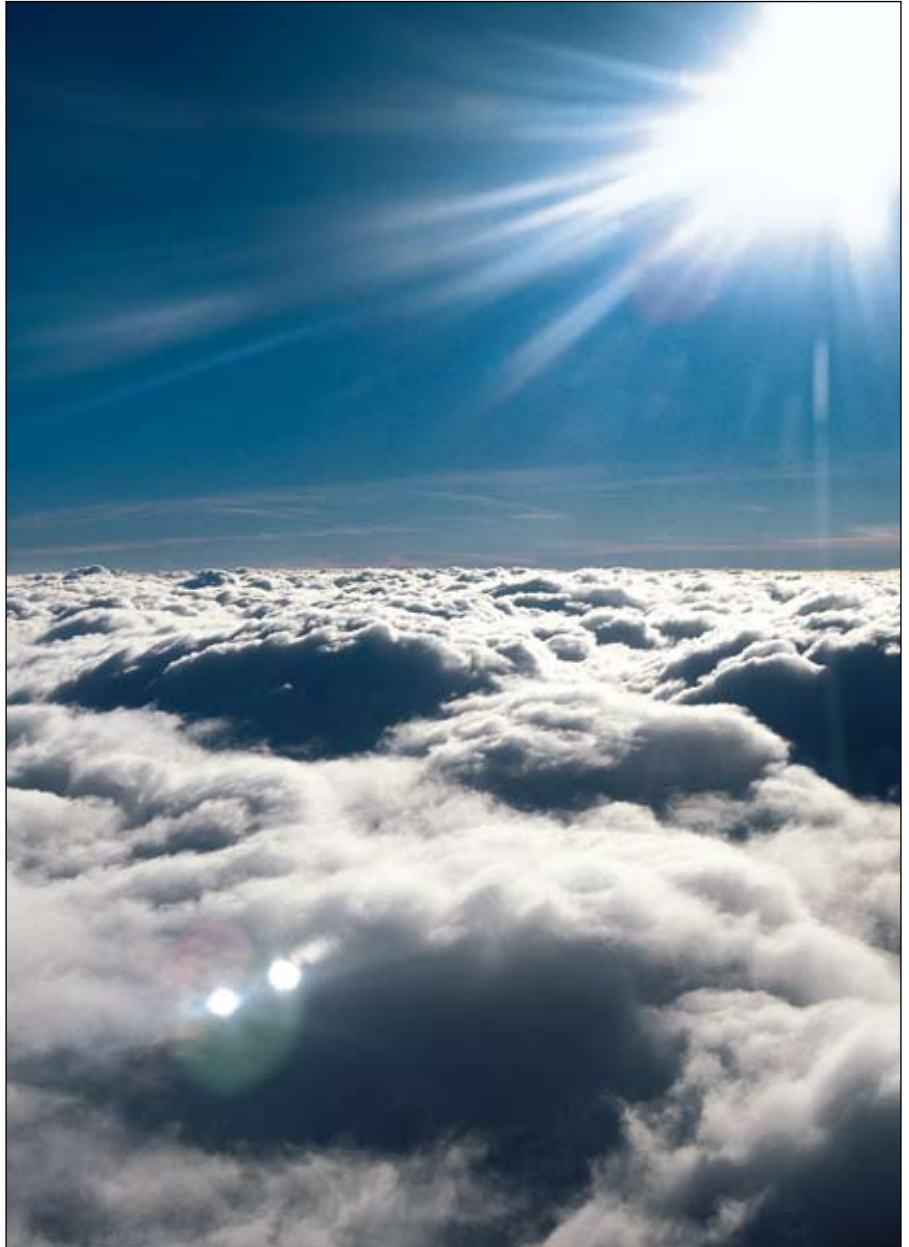


Abb. 2: Bei Inversionswetterlagen kann „Wintersmog“ – reduzierender Smog – entstehen; die heute häufigere Form von Smog ist der „Sommersmog“ – oxidierender Smog

Wertstoffkreisläufe

Emailierte Erzeugnisse sind prinzipiell ohne großen Aufwand recyclingfähig: die gebrauchten Materialien lassen sich leicht in den Stoffkreislauf rückführen. Der Nutzen ist die Verringerung der Abfallmenge und die Schonung der Rohstoffe. Metalle können annähernd unbegrenzt recycelt werden. Im Unterschied zu Polymeren werden ihre Eigenschaften vollständig erhalten werden [11]. Email ist

nicht brennbar, daher entsteht beim Recycling auch keine Luftverunreinigung. Email ist chlorfrei - eine Dioxinbildung ist bei der Herstellung sowie bei der Aufarbeitung ausgeschlossen. Bei der Verarbeitung entstehende Prozessabfälle, wie beispielsweise Overspray, kann leicht zurückgewonnen werden. Die Schonung der Ressourcen beginnt bereits bei der Verarbeitung. Durch die Verwendung von Pulvertechnologien lassen sich Nutzungsgrade von 98% erreichen.

Umweltorientierung

Ein fester Bestandteil der heutigen Emailforschung ist die Ökologie: Im Zentrum des Interesses stehen die energiesparende Schmelze des Materials, die Verbesserung der Brenntechnologie, die Rückgewinnung von Prozesswärme sowie Materialkreisläufe zwischen Hersteller und Anwender. Durch die ständige Verbesserung der Oberflächeneigenschaften verlängert sich auch die Lebensdauer der emaillierten Artikel – ein weiterer positiver Aspekt für unsere Umwelt.

Email – ein Spezialglas - ist ein anorganischer Werkstoff: typisch für Gläser sind die im Vergleich zu organischen Werkstoffen extrem niedrigen Diffusionskoeffizienten. Ist von organischen Werkstoffen die langsame Abgabe von Inhaltsstoffen an das angrenzende Medium bekannt, kann man sich beim Email der Stofftrennung sicher sein. Dies ist insbesondere bei der Herstellung von Stoffen, bei denen es auf höchste Reinheit ankommt – wie in der Pharmaindustrie – von Wichtigkeit. Durch die Verwendung von emaillierten Behältern und Reaktoren ist die perfekte Reinheit des Endproduktes überhaupt erst möglich. Diese günstigen Eigenschaften des Materials können auch bei erdverlegten Leitungen genutzt werden – die Reinhaltung des Bodens kann nicht besser sein.

Vermeidung von Korrosionsschäden

Email ist der klassische Korrosionsschutz. Durch Korrosion wird nicht nur der jeweilige Werkstoff zerstört, es müssen auch die Folgeschäden beachtet werden. Hier sind neben Produktionsverlusten, Effizienzverlusten und Produktverunreinigungen insbesondere die Gefährdungen der Sicherheit und der Umwelt zu beachten.

Email eignet sich auch als Werkstoff für den hochkorrosiven Bereich. Normale Stähle und auch Edelstähle kommen hier ohne eine Emailschutzschicht nicht mehr aus. Die per-

fekte Symbiose beider Werkstoffe ermöglicht die Schaffung von Behältern, Reaktoren und Leitungen mit hervorragender Eignung für den Einsatzfall. Die Festigkeit der Konstruktion wird durch den Stahl sichergestellt. Die Aufgaben hinsichtlich der Korrosionsfestigkeit übernimmt das Email.

Email ist gasdicht. Durch die Verwendung können korrosionsempfindliche Oberflächen vor dem angreifenden Medium geschützt werden, selbst wenn dieses gasförmig vorliegt. Eine Diffusion durch das Email hindurch ist ausgeschlossen.

Ökonomische Vorteile

Der volkswirtschaftliche Verlust durch Korrosionsschäden beträgt etwa 4% des Brutto sozialproduktes [12,13]. Die Kosten in Deutschland betragen dafür demnach ca. 64 Milliarden Euro. Diese Kosten beinhalten nicht die indirekten Kosten, die durch den Austritt von Schadstoffen in die Umwelt entstehen. Wird nur die chemische Industrie in Deutschland betrachtet, so betragen 1991 die korrosionsbedingten Schäden 3,3 Milliarden Euro [14]. Diese Kosten sind für einen Industriezweig, der dem Korrosionsschutz schon einen hohen Stellenwert einräumt, erheblich. Etwa 10-15% der Kosten könnten durch wirkungsvollere Korrosionsschutzmaßnahmen eingespart werden. Daraus ergibt sich ein Einsparpotenzial von 330 bis 500 Millionen Euro. Dies ist sicher ein guter Grund, über Emaillierungen nachzudenken. Oft lassen sich auch Bauteile, die bisher aus Edelstahl gefertigt wurden, durch emaillierte Bauteile aus Normalstahl ersetzen.

In der industriellen Anwendung übersteigen die Ein- und Ausbaurkosten eines Reaktors oder Behälters häufig den Preis des Neuteils. Dächer müssen abgedeckt und geöffnet werden, Zwischendecken werden entfernt, und nach dem Einsetzen des teilweise aufwändig und weit transportierten Teils wird das Gebäude wieder geschlossen. In diesem Fall wird die Wirtschaftlichkeit hauptsächlich von der Langlebigkeit des Produktes bestimmt.

Die hochwertige Oberfläche sowie die aufgetragene Materialdicke bestimmen die Lebensdauer des Gegenstandes. Jeder weitere Monat Nutzbarkeit verbessert die Wirtschaftlichkeit.

Immer mehr Menschen achten auf die Umwelt- und Gesundheitsverträglichkeit der von ihnen eingekauften Produkte und nehmen dafür sogar höhere Preise in Kauf. Dies trifft insbesondere für Produkte aus dem Lebensmittelbereich zu, aber in fast allen Sparten lassen sich heute umweltfreundliche Produkte finden. Die Verwendung von Warenzeichen und Umweltsiegeln unterstützt die Vermarktung. Da die Verwendung von Email sich äußerst positiv auf die Reinheit der Produkte auswirkt, ergeben sich auch positive Impulse für das Marketing.

Literatur

- [1] UNEP Climate Change Information Kit: "The Kyoto protocol- a brief summary", 2005
- [2] EUROPA Rapid Press Releases: "The Kyoto Protocol and climate change - background information", Brüssel 2002
- [3] <http://xn--brsen-recht-rfb.de/index.php>
- [4] Umweltnutzung und Wirtschaft: Bericht zu den Umweltökonomischen Gesamtrechnungen 2004; Statistisches Bundesamt: Kap. 4.6, Wiesbaden 2004
- [5] Luftreinhalteplan beider Basel 2004: Kap. 4.1.4.
- [6] Lösungsmittel in Österreich Jahr 2000, Kap. 3.4, St. Pölten Wien 2003
- [7] Flüchtige Kohlenwasserstoffe in der Atmosphäre – Entstehung, Verhalten und Wirkungen, Luftqualitätskriterien VOC, Österreichische Akademie der Wissenschaften, Kommission für Reinhaltung der Luft, Wien 1996
- [8] Hintergrundinformation Sommersmog, www.umweltbundesamt.de Berlin 2000
- [9] Weniger Ozon mehr Luft, Ministerium der sozialen Angelegenheiten, Brüssel 2004
- [10] Hilgner, J.: "Vergleich von Lack und Email unter ökonomischen und ökologischen Gesichtspunkten", Diplomarbeit, Merseburg 2005
- [11] Wernick, I.; Themelis N.J.: "Recycling Metals for the Environment", Annual Reviews Energy and Environment, Vol. 23, pp. 465 – 97, 1998
- [12] BayerAG: "Rosten ist kein Schicksal", Bayer research 16, pp. 74-77
- [13] IFAM, Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung: Broschüre „Oberflächen-Korrosion erkennen-verstehen-vermeiden“, Bremen 2005
- [14] Wendler-Kalsch, E.: Korrosionsschadenkunde, Springer, Berlin 1998

Rühr- und Antriebstechnik für emaillierte Rührwerksapparate

von Dipl.-Chem. Denis Blattner
und Dipl.-Ing. Manfred Swintek

Es sind die hervorragenden Eigenschaften des emaillierten Stahles, die diesen Verbundwerkstoff für zahlreiche Einsatzfälle in Chemie, Pharmazie und Biotechnologie unersetzlich machen:

- ausgezeichnete Korrosionsbeständigkeit
- völlige physiologische Unbedenklichkeit und Produktneutralität
- glatte, sehr gut zu reinigende Oberfläche
- absolute Metallfreiheit aller produktberührten Oberflächen und Dichtungskomponenten.

Aber lassen sich aktuelle, verfahrenstechnisch optimierte Rührerformen auch email-gerecht gestalten? Inzwischen kann diese Frage klar mit ja beantwortet werden. Besonders die zunehmende Verbreitung der BE-Reaktoren und die damit verbundene Weiterentwicklung geteilter, vollemaillierter Rührer für alle Rührprozesse haben maßgeblich dazu beigetragen.

Rührtechnik

Obwohl Rühren als verfahrenstechnische Grundoperation schon seit Jahrtausenden sowohl im Alltag, als auch zunehmend in der sich entwickelnden Industrie genutzt wurde, begann die wissenschaftliche Erschließung der Rührprozesse erst vor wenigen Jahrzehnten. Etwa vor 50 Jahren wurden die DIN-Normen für Rührbehälter und Rührer erarbeitet. Mit den heute verfügbaren komfortablen Berechnungsprogrammen lassen sich alle klassischen Rühraufgaben exakt berechnen bzw. gezielt gestalten. Weitere Verbesserungen werden von der Perfektionierung der mathematischen Simulationen von Rührprozessen erwartet.

Die Grundoperationen der Rührtechnik sind natürlich gleich geblieben:

Homogenisieren, Suspendieren, Dispergieren, Begasen und Intensivierung des Wärmeübergangs mit dem Ziel, eine vorausgerechnete chemische Reaktion im Rührwerksapparat planmäßig durchzuführen. Die ständige Weiterentwicklung der Mischsysteme ermöglicht aber neue, bisher nicht realisierbare Anwendungen, kürzere Reaktionszeiten, höhere Produktqualitäten und geringeren Energieverbrauch.

Viele, relativ einfache Rühraufgaben im turbulenten Bereich, z.B. Homogenisieren leicht mischbarer Komponenten oder Suspendieren bei geringen Dichteunterschieden, lassen sich mit verschiedenen Rührsystemen befriedigend lösen, da sich die Einsatzgrenzen zum Teil überschneiden. In diesem Bereich ist der Impeller nach wie vor der meist verwendete emaillierte Rührer.

Bei schwierigen Prozessen, z.B. Dispergieren und Suspendieren großer, schwerer Partikel oder Begasen mit hohem Gaseintrag, müssen die Prozessparameter möglichst exakt berechnet werden, da das gewünschte Ergebnis überhaupt nur dann erreichbar ist.

Reaktorbauformen

Mit entscheidend für die Auswahl der Rührerform ist die Ausführung des Rührwerksapparates entsprechend einer der drei DIN-Varianten: Der AE-Reaktor besteht aus dem offenen Unterkessel und seinem getrennten Oberboden. Beide Teile werden über eine Flanschverbindung mittels Klammerschrauben verbunden. Der Einsatz von Rührorganen mit einem Durchmesser, der knapp unter dem Innendurchmesser des Kessels liegt, ist möglich. Insbesondere finden Ankerrührer in solchen Apparaten An-



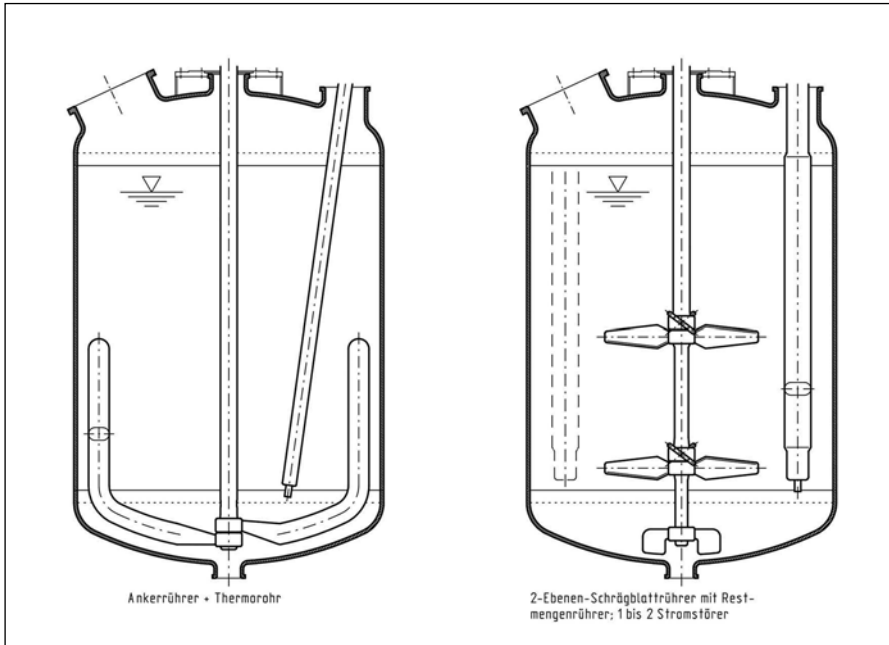


Bild 1: BE-Reaktor

wendung. Auf Grund der Verzüge, die beim Brennprozess des Emaillierens unvermeidlich sind und der mit dem Umfang wachsenden Schwierigkeit, die Dichtheit der Flanschverbindung zu gewährleisten, ist allerdings eine beliebige Größe dieser Konstruktion nicht unproblematisch. Deshalb ist in der DIN-Norm eine Obergrenze bei 6,3 m³ vorgesehen, die allerdings kaum noch ausgeführt wird. Wichtig ist die AE-Ausführung nach heutigem Stand der Technik für Reaktoren mit einem Volumen kleiner als 630 Liter.

Der CE-Reaktor wird in einem Teil gefertigt. Im Oberboden befindet sich die Arbeitsöffnung, abgeschlossen durch den Rührwerksdeckel, welcher das Mannloch, den Rührwerkstutzen und den kompletten Antrieb trägt. Der vorgesehene Rührer muss durch die Arbeitsöffnung montiert werden. Dadurch ist sein Durchmesser begrenzt. Impeller und Schrägblattrührer in allen Varianten und in mehreren Ebenen finden hier ihren Einsatz. Nennvolumen von 25, 40 oder sogar 60 m³ sind mit dieser Konstruktion keine Seltenheit.

Der BE-Reaktor (s. Bild 1) löst dank der geteilten Konstruktion des Rührorgans in eleganter Weise einige der Probleme, die bei den beiden ersten Formen aufgetreten sind. Die Welle wird durch den Rührwerkstutzen eingebaut und die getrennten Flügel werden durch das Mannloch eingeführt. Anschließend werden Rührorgan und Welle durch ein Kryogenvverfahren verbunden. Reaktoren können mit dieser Technik mit allen Typen von Rührern, von der Turbine bis zum Anker, ausgerüstet werden. Der Optimierung der Prozesse durch einen bisher mit Email nicht erreichten Freiheitsgrad in der Gestaltung der Rührtechnik werden so neue Türen geöffnet. Die neuesten Rührerentwicklungen sind dabei häufig urheberrechtlich geschützt.

Für niedrigviskose, z.B. wasserähnliche Medien ist der Einsatz von Stromstörern unbedingt erforderlich, um den Anteil der Axialströmung deutlich zu erhöhen, die Turbulenz zu verstärken und die Trombengröße zu verringern. Die richtige Dimensionierung und Anordnung von Stromstörern ist deshalb ebenso wichtig wie die Auswahl eines geeigneten Rühr-

ers, da nur beide Komponenten zusammen ein perfektes Mischsystem bilden. Moderne vollernannte Stromstörer werden meist multifunktionell genutzt, d.h., ein oder mehrere Einleitrohre sowie sämtliche Messfühler sind integriert. Auch hier ist eine deutliche, technische Weiterentwicklung erkennbar, wenn man die ersten emaillierten Thermometerschutzrohre als bescheidenen Anfang betrachtet.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass sich die Einsatzmöglichkeiten emaillierter Rührsysteme mit jeder Weiterentwicklung vergrößern. Deshalb sollten sie neben den herkömmlichen Lösungen ständig als neue mögliche Alternativen geprüft werden.

Rührwerke

Rührwerksantriebe stehen selten im Mittelpunkt des Interesses, da sie zuverlässig ihre Funktion erfüllen. Die Anschlussmaße wichtiger Baugruppen sind durch DIN-Normen festgelegt, so dass die Austauschbarkeit verschiedener Fabrikate immer gewährleistet ist. Selbstverständlich erfüllen alle Komponenten, von denen eine potenzielle Zündgefahr ausgeht, die Forderungen der Richtlinie 94/9/EG.

Wellenabdichtungen

Wichtige Baugruppen sind dabei zweifellos die Wellenabdichtungen. Die Vielfalt der Bauformen, Wirkprinzipien und Werkstoffkombinationen bietet heute Lösungen für alle Einsatzfälle, vorzugsweise unter Verwendung von Bauteilen aus SiC und PTFE. Gleitringdichtungen kommen vorwiegend als flüssigkeitsgeschmierte, gasgeschmierte oder trockenlaufende Baugruppen mit FDA-(food and drug administration) konformen Werkstoffen zum Einsatz.

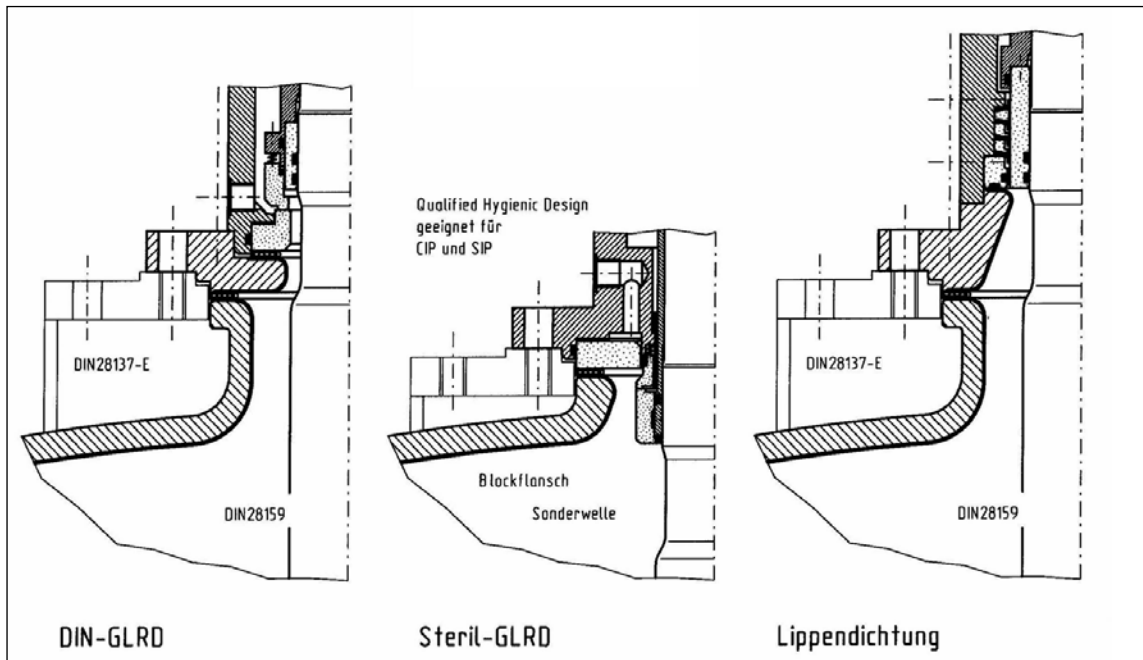


Bild 2:
Beispiele für Wellenabdichtungen

Wellenlippendichtungen der neuesten Bauart stellen eine interessante Alternative dar und werden im Weiteren detaillierter vorgestellt.

Am weitesten verbreitet sind derzeit flüssigkeitsgeschmierte Gleitringdichtungen (GLRD) nach DIN 28138 Teil 2 und 3. Im Dichtungssinnenraum zirkuliert eine geeignete Sperrflüssigkeit zur Schmierung und Kühlung der Gleitflächen. Dabei auftretende Leckagen sind sehr gering. Die Form der Gleitringe garantiert, dass die Dichtung auch bei Ausfall des Sperrdruckes, also bei Druckumkehr, geschlossen bleibt – ein wichtiger Vorteil im Hinblick auf Sicherheit und Umweltschutz.

Füllstand, Druck und Temperatur werden ständig am Versorgungssystem – meist einem Thermosiphonbehälter mit integrierter Kühlschlange – überwacht, so dass regelmäßige Sichtkontrollen vor Ort auf ein Minimum reduziert werden können.

Ähnlich wird bei der Anwendung von gasgesperrten Gleitringdichtungen vorgegangen. Für Sterilanwendungen wurden speziell gestaltete Rührwerksdichtungen

entwickelt. Sie unterliegen den Regeln des QHD (qualified hygienic design) und sind für CIP (clean in place) und SIP (sterilisation in place) geeignet. Alle produktberührten Flächen sind sehr gut zu reinigen, da die Anzahl der Spalten, Ecken und Toträume bewusst minimiert wurde. Hierbei können nicht alle DIN-Anschlussmaße für Welle und Rührwerksflansch eingehalten werden, so dass die direkte Austauschbarkeit gegen DIN-Kompakteinheiten nicht möglich ist.

Mit modernen Wellenlippendichtungen werden inzwischen auch sehr gute Ergebnisse erreicht. Spezielle PTFE-Compounds als Lippenwerkstoffe und die Verwendung von SiC-Bauteilen auf der Produktseite garantieren höchste Beständigkeit und Dichtheit sowie lange Lebensdauer. Die Cartridge-Einheiten werden mit gleichen Anschlussmaßen wie DIN-GLRD ausgeführt und sind für alle emaillierten Rührwerksapparate verfügbar. Die Dichtung läuft trocken und braucht kein Sperrmittel und damit auch kein Versorgungssystem – ein Vorteil im Hinblick auf Betriebs- und Investitionskosten. Durch geeignete Anordnung der Dichtelemente ist die Wellenlippendich-

tung geeignet, Druck mit beiden Dichtungen aufzunehmen, das „Problem“ Sperrdruckausfall kann somit nicht auftreten.

Aus der Vielzahl der technischen Möglichkeiten zur Wellenabdichtung kann für jeden Einsatzfall die optimale Lösung ausgewählt werden (s. Bild 2). Allen beschriebenen Dichtungen ist gemeinsam, dass diese speziell für den Einsatz an emaillierten Apparaten konzipiert sind. Durch einen aufwändig hergestellten emaillierten Grundflansch stellen die Dichtungen sicher, dass die hervorragenden Eigenschaften der emaillierten Erzeugnisse ohne jede Einschränkung erhalten bleiben.

Schlussfolgerung

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass durch die Weiterentwicklung der Emaillierung in Verbindung mit neuester Rühr- und Antriebstechnik ein breites Spektrum der Anforderungen der Industrie abgedeckt werden kann. Ein Ende dieser positiven Entwicklung ist noch nicht abzusehen.

Technisches Email in der Säureaufarbeitung

von
Dipl.-Ing. Karl Heinz Winter

Allgemeines

Die Anwendung des Technischen Emails in der Aufarbeitung von organischen und anorganischen Säuren hat eine sehr lange Tradition und Bauteile sowie Verfahren unterliegen einer ständigen Weiterentwicklung hinsichtlich der Größe und der Komplexität. Die nahezu universelle Korrosionsbeständigkeit, verbunden mit einer glatten Oberfläche und das Preis-/ Leistungsverhältnis, stellen die Hauptvorteile des Technischen Emails in diesen Anwendungen dar. Neben dem Technischen Email kommen noch andere Werkstoffe zum Einsatz, bei welchen jedoch die spezifische Charakteristik hinsichtlich Beständigkeit, Temperatur, Druck, Diffusionsverhalten und Preisniveau zu berücksichtigen ist. Beispielfhaft sind in **Tabelle 1** hier einige Werkstoffe und deren Anwendungsgebiete aufgezeigt.

Prozesse in der anorganischen Säureaufarbeitung

Die am häufigsten eingesetzten anorganischen Säuren in der chemischen Industrie sind Schwefelsäure (H_2SO_4), Salpetersäure (HNO_3) und Salzsäure (HCl). Nachfolgend soll die Schwefelsäure näher betrachtet werden, die in der chemischen Produktion zur Trocknung von Flüssigkeiten und Gasen, in Nitrierungsprozessen und Synthesen zum Einsatz kommt. Dabei fällt die Schwefelsäure als verdünnte Säure an, die aufkonzentriert, je nach Anwendungsfall von organischen Verunreinigungen befreit und dann dem Produktionsprozess wieder zugeführt wird, wobei ein Kreislaufprozess ohne Abfallstoffe angestrebt wird. Wird das Stoffsystem Schwefelsäure/Wasser betrachtet (**Bild 1**), so ist zu erkennen, dass bei 98,3 wt % H_2SO_4 ein Maximumazeotrop vorliegt und die Gleichgewichtskurve einen guten Trennfaktor aufweist. Bis zu einer Konzentration von ca. 70 wt % in der Flüssigkeit ist in der Dampfphase keine Schwefelsäure enthalten. Bei höheren Konzentrationen muss

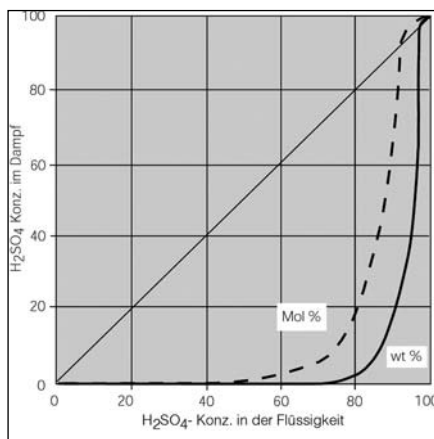


Bild 1 : Gleichgewichtsdiagramm für das System Schwefelsäure / Wasser.

der Schwefelsäureanteil im Kondensat durch zusätzliche Maßnahmen reduziert werden. In die Praxis umgesetzt bedeutet dies, dass eine Abfallsäure mit einer Eintrittskonzentration von ca. 70 % auf eine Endkonzentration von 96 % in einer zweistufigen Verdampferanlage aufkonzentriert werden kann, wie in dem Verfahrensfließbild (**Bild 2**) aufgezeigt wird. Die verdünnte Schwefelsäure wird in

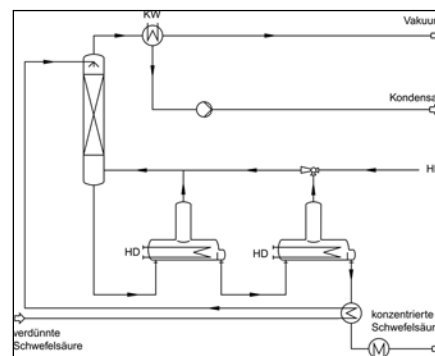


Bild 2: Verfahrensfließbild

die erste Verdampferstufe geleitet, welche unter Vakuum betrieben wird, wodurch die Siedetemperatur reduziert und damit die Temperaturdifferenz zum Heizdampf auf ausreichende Werte eingestellt wird. Die Säure verlässt den liegenden Verdampfer mit ca. 90 % und wird in der zweiten Stufe bei einem niedrigeren Vakuum auf den Endwert von ca. 96 % aufkonzentriert. In der ersten Stufe ist eine Kolonne vorgesehen, in welcher die Brüden mit der Feed-Säure gewaschen werden,

Tabelle 1: Anwendungen und Charakteristika von Konstruktionswerkstoffen

Werkstoff	Anwendung	Charakteristik
Tantal	Rohrbündel für Verdampfer	hohe Material- und Verarbeitungspreise
Graphit	Kondensatoren	Einschränkungen bei Beständigkeit, Beachtung der Druckfestigkeit
PTFE	Kolonnen- und Behälterauskleidungen	Einschränkungen in Diffusions- und Vakuumfestigkeit
Siliciumcarbid	Rohre für Wärmeübertrager	eingeschränkte Formgebung, keine Apparate möglich
sonstige Kunststoffe, wie PVDF, PP, PVC	Rohrleitungen, Behälter	Einschränkungen bei Beständigkeit und Temperatur
Borosilicatglas	Kolonnen, Behälter, Wärmeübertrager, Rohrleitungen	maximal bis DN1000 herstellbar, Beachtung der Druckfestigkeit

wodurch die Säurekonzentration im Kondensat gesenkt wird. Die Brüden der zweiten Stufe werden mit einer Dampfstrahlpumpe auf den Druck der ersten Stufe verdichtet, in die Waschkolonne geleitet und nachfolgend in einem gemeinsamen Rohrbündelwärmeübertrager kondensiert. Die ablaufende, konzentrierte Säure erwärmt in einem Rekuperator die zulaufende Säure und wird anschließend in den Prozess zurückgeführt.

Apparative Umsetzung im Säureanlagenbau

Die bei der Aufkonzentrierung vorliegenden Temperaturen, Drücke und hochkorrosiven Produkte stellen höchste Ansprüche an die Werkstoffe und ihre Verarbeitung bei den einzelnen Apparaten. Das Technische Email erfüllt diese Anforderungen, was durch einen jahrzehntelangen Einsatz mit Erfolg bewiesen wurde. Die Aufgabe des Anlagenbauers ist die optimale und kostengünstige Umsetzung des verfahrenstechnischen Konzeptes in das Apparatedesign, wobei die Kombination von Email mit anderen korrosionsfesten Werkstoffen eine Herausforderung darstellt. Die wesentlichen Elemente einer Schwefelsäure-Aufkonzentrierungsanlage sind nachfolgend beschrieben.

Liegender Verdampfer

Der Verdampfer (**Bild 3**) besteht aus einem liegenden Emailgehäuse (DN 800 - DN1800) mit einem am äußeren Rand des Klöpperbodens horizontal angesetzten Stutzen, durch den ein Tantal-Heizbündel eingeschoben wird. Das Heizbündel wird durch ein PTFE-Baffle-System stabilisiert und in einzelne Kammern unterteilt. Der Heizer wird mit Sattldampf von ca. 15 bar betrieben. Entsprechend dem Kon-

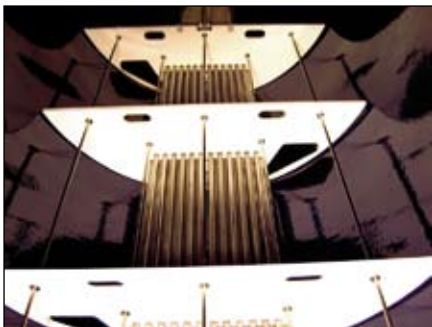


Bild 3: Liegender Schwefelsäure-Verdampfer

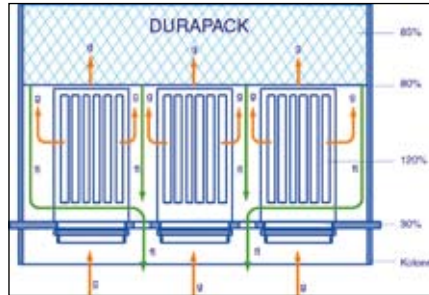


Bild 4: CoreTray, Aufbau der Kolonneeinbauten

zentration- und Temperaturprofil der Säure in den einzelnen Kammern stellt sich jeweils eine spezifische Temperaturdifferenz als treibende Kraft der Verdampfung ein, wodurch die Tantalheizfläche bestens ausgenutzt und gleichzeitig der partialdruckbedingte Säureverlust in den Brüden minimiert wird.

Die Vorteile gegenüber einem Zwangsumlaufverdampfer und anderen vergleichbaren Systemen liegen in den hohen Wärmeübergangszahlen, dem Verzicht auf Umwälzpumpen, der geringen Bauhöhe, der großen Verdampfungsoberfläche und dem dadurch minimierten Mitriss von Flüssigkeitströpfchen und dem großen Lastbereich, der zwischen 25 und 100% der Verdampfungsleistung eingestellt werden kann.

Waschkolonne

Die emaillierte Kolonne (DN1200 bis DN1800) kann in Verbindung mit einem geeigneten Kompensationssystem direkt auf den Brüdenstutzen des Verdampfers aufgesetzt werden, wodurch aufwändige Rohrleitungsführungen



Bild 5: Glaskamine auf dem emaillierten Lochboden

entfallen. Die Einbauten der Kolonne bestehen aus Füllkörpern oder geordneter Packung aus Borosilicatglas. Bei den Einbauten, Verteilern und Tragelementen muss auf einen möglichst großen freien Querschnitt und eine gute Verteilung der Flüssigkeit geachtet werden. Diese Anforderungen haben zur Entwicklung des Core-Tray geführt (**Bilder 4 - 5**). Hierbei handelt es sich um einen emaillierten, ebenen Lochboden, der zwischen die Hauptflansche der Kolonnen gespannt wird. In dem Lochboden sitzen Kamine aus Borosilicatglas, welche die Füllkörper oder Packung tragen, und Verteilertüllen aus PTFE. Durch die Gegenstromführung von Flüssigkeit und Gas wird für den Brüden durchtritt ein freier Querschnitt von 120 % erreicht. Die PTFE-Verteilertüllen, die mit einem speziellen Dichtsystem in dem Boden montiert sind, gewährleisten eine gleichmäßige Verteilung der Flüssigkeit auf die darunter liegende Packung. Durch diese Konstruktion lassen sich Auflageboden, Sammler und Verteiler in einem Element platzsparend realisieren.

Wärmeübertrager

Die Apparate sind als Rohrbündelwärmeübertrager aus verschiedenen hochkorrosionsfesten Werkstoffen zusammengebaut. Die Austauschrohre bestehen aus Siliciumcarbid, haben eine hervorragende Wärmeleitfähigkeit und werden in einem Boden aus Stahl/PFA/PTFE mit einer Keilring-Einzelrohrabdichtung aufgenommen. Das Baffle-System besteht aus PTFE und wird durch Stäbe aus Borosilicatglas gehalten. Alle Einbauten befinden sich in einem Mantelrohr aus emailliertem Material oder Borosilicatglas. Wenn, wie im Einsatzfall des Rekuperators, auf beiden Seiten (Mantel- und Rohrseite) korro-



Bild 6: Anlage während der Montage: Verdampfer, Email und Borosilicatglas-Kolonnen

sives Medium geführt werden muss, werden die Hauben des Wärmeübertragers ebenfalls aus emailliertem Material gefertigt (**Bild 6+7**).

Behälter

Eine kontinuierliche Aufarbeitungsanlage erfordert Vorlage- und Pufferbehälter, die bei der Schwefelsäurekonzentrierung aus Gründen der Beständigkeit aus emailliertem Material ausgeführt werden. Je nach Anforderungsprofil und den Platzverhältnissen am Aufstellungsort werden stehende oder liegende Lagerbehälter eingesetzt, die in ihren Abmessungen genormt sind.

Rohrleitungen

Der Transport der korrosiven Medien innerhalb der Anlage erfolgt in emaillierten Rohrleitungen, die in Ausführung und Abmessung genormt sind. Insbesondere bei heißen und drucktragenden Leitungen ist ein durchdachtes Halterungs- und Kompensations-System erforderlich, um hohe Kräfte und Drehmomente auf den angeschlossenen Apparatestutzen zu vermeiden, die zu Abplatzungen und Schadensfällen durch Korrosion führen können. Die Brüdenleitungen, die ebenfalls in Email oder Borosilicatglas ausgeführt werden, erfordern in diesem Punkt eine besondere Betrachtung, da z.B. bei der Nennweite DN 1200 durch das Betriebsvakuum Kräfte im Bereich von 100 kN auftreten können.

Montage und Inbetriebnahme der Säureanlagen

Bei der Montage der Apparate und Rohrleitungen aus Email ist entsprechendes Know-how und ausreichende Sorgfalt erforderlich, um Beschädigungen der Emailsicht aus-



Bild 7: Wärmeübertrager: Email-Mantel mit Siliciumcarbid-Rohren

zuschließen. Die Apparate werden vor der Einbringung in die Anlage nochmals „abgefunkt“, um eventuelle Beschädigungen, die auf dem Transportweg entstanden sind, zu dedektieren. Bei den großen Hauptflanschen werden korrosionsbeständige Spezialdichtungen verwendet, die Flanschunebenheiten innerhalb der genormten Grenzen ausgleichen. Nach der Montage erfolgt die Abnahme (Mechanical Completion), wobei insbesondere die spannungsfreie Ausführung und die fachgerechte Kompensation überprüft wird. Anschließend wird der Prozess mit Wasser simuliert, wobei an geeigneten Stellen Filter eingebaut werden, die mögliche Emailsplitters, die durch Abplatzungen bei unsachgemäßer Montage entstehen können, auffangen und anzeigen. Nach dem ersten „Heißfahren“ der Anlage mit Wasser werden alle Flanschverbindungen überprüft und wenn erforderlich nachgezogen, um ein Setzen der Dichtungen auszugleichen. Die Anlage ist jetzt bereit für die Inbetriebnahme mit der aufzuarbeitenden Säure (ready for Commissioning). Die einzelnen Stufen werden mit der Prozesssäure angefahren und dann in den Verbund geschaltet. Am Schluss der Inbetriebnahme steht die Leistungsfahrt, in welcher die festgelegten Parameter, wie z. B. Durchsatz, Endkonzentration, Säuregehalt im Kondensat und Dampfverbrauch, vorgefahren und überprüft werden (final Acceptance).

Zusammenfassung

Die hochentwickelte Fertigungstechnik für emaillierte Apparate und die angepassten Verfahrens- und Anlagenkonzepte haben die Verwendung von emaillierten Komponenten im Säureanlagenbau zu einem betriebssicheren und unverzichtbaren Element gemacht. Mittlerweile ist eine Vielzahl von Anlagen in der chemischen Industrie installiert, von welchen die ersten Installationen mehrere Betriebsjahrzehnte aufweisen können. Die Entwicklung ist damit aber noch nicht abgeschlossen. So wird z.B. im Rahmen der Vergrößerung der Anlagen an neuen Konzepten gearbeitet, die hinsichtlich Durchsatzvolumen und Apparatedesign die bereits gebauten Anlagen um einige Faktoren überschreiten werden.

Herstelleradressen

De Dietrich

Glass Lining Equipment
B.P. 08

F - 67110 Zinswiller

Tel.: 0033 3 88 53 23 00

Fax: 0033 3 88 53 23 99,

E-Mail: engineering@dedietrich.com

Internet: www.dedietrich.com

Fried. Wilh. Düker GmbH & Co. KGaA

Hauptstr. 39-41

63846 Laufach

Tel.: 06093 / 87200

Fax: 06093 / 87303,

E-Mail: fjb@dueker.de

Internet: www.dueker.de

Estrella AG

Apparate + Emaillierwerk

Brühlmattweg 20

CH - 4107 Ettingen

Tel.: 0041 / 61 / 7264511

Fax: 0041 / 61 / 7264502

E-Mail: verkauf@estrella.ch

Internet: www.estrella.ch

Pfandler Werke GmbH

Pfandlerstraße

D - 68723 Schwetzingen

Tel.: 06202 / 620285-0

Fax: 06202 / 22412

E-Mail: sales@Pfandler.de

Internet: www.pfandler.de

EHW Thale Email GmbH

Steinbachstr. 3

D - 06502 Thale

Tel.: 03947 / 7780

Fax: 03947 / 77810

E-Mail: info@ThaleEmail.de

Internet: www.ThaleEmail.de

WENDEL GmbH

Am Güterbahnhof

D - 35683 Dillenburg

Tel.: 02771 / 9060

Fax: 02771 / 906106

E-Mail: info@wendel-email.de

Internet: www.wendel-email.de

DAS SOLLTEN SIE WISSEN!

Technisches Email, der hochmoderne Oberflächenschutz.

Wie lebt der Mensch ohne Neugier? Auch, aber natürlich alles andere als erfolgreich. Nehmen wir das Thema Oberfläche: Erst der industrielle Einsatz löste das traditionelle Email ab und verhalf dem Technischen Email zu seinem Namen – das Resultat aus Erfahrung, wissenschaftlicher Arbeit und handwerklichem Können. Der hochmoderne Oberflächenschutz von heute ist gerade die Sicherheit, dass die Chemie- und Pharma-Industrie auch auf diesem Sektor ihre Eisen im Feuer hat.



dev
deutscher email verband

Als Verband der Emailindustrie hat es sich der dev zur Aufgabe gemacht, über den topaktuellen Werkstoff Technisches Email zu informieren.

Kompetente Praktiker aus unterschiedlichen Disziplinen schildern in lockerer Reihe die Zusammenarbeit verschiedenster Wissensrichtungen mit Technisches Email.

www.emailverband.de