



**EMAIL - EMAILLIEREN - EMAILLIERUNG
EINFÜHRUNG IN DIE EMAILTECHNOLOGIE**

Inhalt

(K)ein Vorwort?
Begriffe, Definitionen
Begriffsverwirrung!?
Trägermaterialien
Metallvorbehandlung
Konstruktionshinweise

Email

Herstellung
Schichtaufbau
Haftung

Emaillieren

Emailschlicker, -pulver, -puder
Auftragsverfahren
Einbrennprozess

Emaillierungen

Eigenschaften – mechanisch, chemisch, optisch
Anwendungen – Funktion und/oder Dekoration
Haushalt
Sanitär
Heizung
Technik
Verkehr
Architektur
Schilder & Plakate
Schule und Kommunikation
Garten, Hobby, Kunst und Freizeit

Anhang

Geschichtlicher Abriss
Literaturhinweise

(K)ein Vorwort?

Benötigt jedes Buch ein Vorwort? Die Beantwortung dieser Frage wird sehr unterschiedlich ausfallen. Es kann mit ja oder nein geantwortet werden. Die Neinsager können jetzt im Inhaltsverzeichnis das sie interessierende Kapitel herausuchen oder sie lesen diese Schrift vom Anfang bis zum Ende. Dann haben sie mit dieser Einführung in die Emailtechnologie einen allgemeinen theoretischen und anwendungsbezogenen Überblick.

Den Befürwortern eines Vorwortes soll nachfolgend in der gebotenen Kürze eines Vorwortes begründet werden, warum dieses Buch entstanden ist. Dazu ist es notwendig klarzustellen, dass dieses Buch keinen Anspruch, der an ein wissenschaftliches Werk zu stellen ist, erfüllen soll. Hier sei auf das Literaturverzeichnis im Anhang verwiesen. Auch im Internet finden sich diverse Informationsmöglichkeiten zum Thema Email und Emailiertechnik. Die Emailverbände selbst haben zahlreiche Broschüren veröffentlicht. Doch sind diese Informationsmöglichkeiten thematisch oft eingeengt. Gedrucktes ist oft auch bereits vergriffen. Eine aktualisierte Neuauflage erschien dem Vorstand des Informations- und Bildungszentrums Email e.V. nicht sachgerecht. Einig war man sich auch darin, dass Basiswissen nicht nur virtuell vermittelt werden kann. Ein allgemein verständliches Werk, das die Vielfalt des Werkstoffes von der Herstellung über die Verfahren bis zu den Anwendungen präsentiert, ist in Europa nicht verfügbar. Bis jetzt!

Begriffe, Definitionen

Das Deutsche Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung e.V., RAL, hat im Jahr 2007 die aktuelle RAL 529 A3 veröffentlicht. Danach sind jetzt folgende Begriffsbestimmungen und Bezeichnungsvorschriften gültig:

Email oder Emaille

Als Email oder Emaille wird ein glasartiger Werkstoff bezeichnet, der durch vollständiges oder teilweises Schmelzen im Wesentlichen oxidischer Rohstoffe entsteht. Die so hergestellte anorganische Zubereitung wird mit Zusätzen in einer oder mehreren Schichten auf Werkstücke aus Metall oder Glas aufgetragen und bei Temperaturen über 480 °C aufgeschmolzen.

Emaillieren

Emaillieren wird der Herstellungsprozess eines dann emaillierten Gegenstandes genannt.

Emaillierung

Emaillierung ist der aufgeschmolzene, mit dem Trägerwerkstoff verzahnte, glasartige anorganische Überzug.

Ablassen der Emailschmelze aus einem Contiofen
(Bild rechts: PEMCO Brugge BVBA)





Ablassen der Emailschnmelze aus einem Trommelofen (oben) und Abschrecken in Wasser (unten) (Bilder: Wendel GmbH)



Neben dieser aktuellen „offiziellen“ RAL-Begriffsbestimmung ist auch folgende Email-Definition noch gebräuchlich, die auf Adolf Dietzel und Hans Kyri zurückgeht: „Email ist eine durch Schmelzen oder Fritten entstandene, vorzugsweise glasig erstarrte Masse mit anorganischer, in der Hauptsache oxidischer Zusammensetzung, die in einer oder mehreren Schichten, teils mit Zuschlägen, auf Werkstücke aus Metall oder Glas aufgeschmolzen werden soll oder aufgeschmolzen

worden ist.“ Der Vorteil dieser Definition liegt in der klaren Abgrenzung des anorganischen Stoffes gegenüber den organischen Lacken. Auch ist der Hinweis auf die Trägerwerkstoffe Metall und Glas eine Abgrenzung zur keramischen Glasur. Als großer Nachteil ist aber die Zweideutigkeit, denn Email kann hier sowohl der Ausgangsstoff als auch die hergestellte Beschichtung bedeuten.



Ablassen der Emailschnmelze aus einem Trommelofen (Bild: PEMCO Brugge BVBA)

Zwei weitere Begriffe sollen an dieser Stelle ebenfalls definiert werden. Sie werden zwar in den Abschnitten zum Email und Emaillieren näher behandelt, sind aber grundlegend und dürfen hier nicht fehlen.

Emailfritten

sind die Grundstoffe zur Emaillierung. Bei Temperaturen von rund 1.400 °C wird ein Rohstoffgemenge aus Quarz, Feldspat, Borax, Soda, Pottasche, Aluminiumoxid, Titandioxid und haftungsbildenden Metalloxiden geschmolzen. Dieser Schmelzprozess erfolgt in rotierenden Trommelöfen oder kontinuierlich in Wannenöfen fast ausschließlich in den darauf spezialisierten Werken, bei den Emailfrittenherstellern. Durch das sehr schnelle Abkühlen und Erstarren der Glasschmelze in Wasser oder zwischen gekühlten Walzen, das Abschrecken genannt wird, entsteht die Emailfritte. In Abhängigkeit davon, ob die Glasschmelze in Wasser oder trocken zwischen wassergekühlten Walzen abgeschreckt wird, ist die Emailfritte ein Glasgranulat oder besteht aus Glasschuppen, die Flakes genannt werden.

Emailschlicker

entstehen als auftragsfertige Suspensionen durch eine Nassvermahlung von Emailfritten und Zuschlagstoffen (z. B. Quarz, Ton, Zirkoniumsilicat), Stellsalzen und eventuell Farbkörpern. Sie werden in ihrem rheologischen Verhalten den Auftragsverfahren angepasst. Pulver für den elektrostatischen Auftrag oder für den Auftrag auf heiße Gussteile werden durch eine Trockenvermahlung der Emailfritten hergestellt.

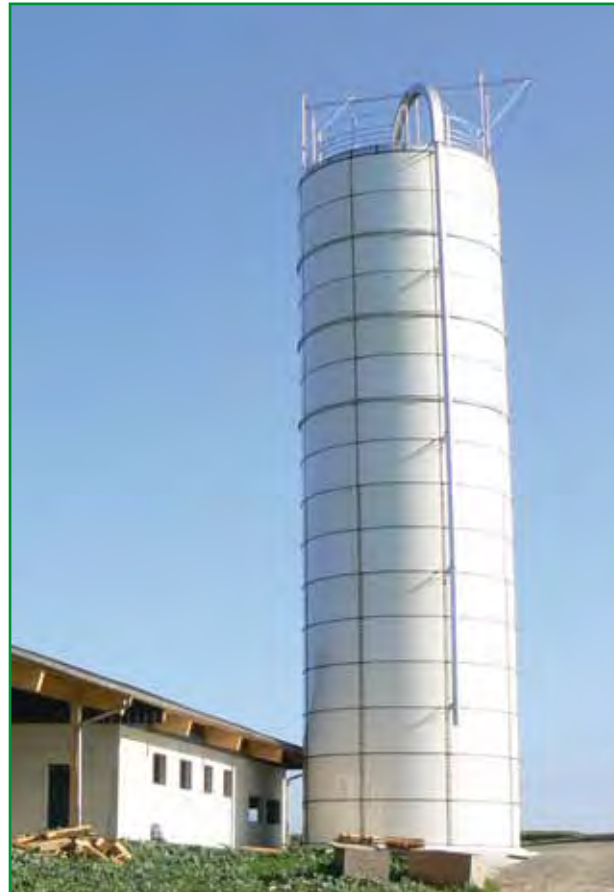


Verschiedene Emailflakes (Bild: Wendel GmbH)

Bei den beiden Abbildungen auf dieser Seite denkt man auf den ersten Blick nicht an eine Emaillierung. Diese Anwendungen stehen stellvertretend für das heutige Spektrum der Einsatzmöglichkeiten.



Im ETE-Verfahren emaillierte Kugel einer Hüftgelenksprothese (Bild: CCR / Wendel GmbH)



Futtermittelsilo (Bild: Omeras GmbH)

Begriffsverwirrung!?

Der Emailbegriff und die in der Emailindustrie verwendeten Begriffe, wie Emailsclicker oder Emailfritten, entstanden aus praktischen Erfordernissen in den Fabriken und Manufakturen des 19. Jahrhunderts, wurden regional unterschiedlich, nicht einheitlich gebraucht und erst im 20. Jahrhundert wissenschaftlich definiert.

Wer heute in einem Text das Wort Email liest und das 50ste Lebensjahr noch nicht überschritten hat, wird es möglicherweise als E-Mail aussprechen. Unabhängig von der eindeutigen RAL-Email-Definition wird die Verwirrung durch das Wort Emaille komplett. Hier hilft der Duden weiter. Bei Emaille ist vermerkt: vgl. Email, was dort als Schmelzüberzug und technisch beschrieben wird.

Der bis weit in die zweite Hälfte des letzten Jahrhunderts auch in der Industrie durchaus übliche Begriff Emaille wurde dann unter dem maßgeblichen Einfluss von Marketingexperten durch Email ersetzt. Bewusst wollten sich die Marketingstrategen der emaillierenden Industrie vom „Abplatzimage“ der alten Emaille absetzen. Andererseits wurde durchaus schon damals erkannt: „Email (oder Emaille) – heute erfunden wäre eine Sensation.“ Diese dem damaligen Henkel-Manager Helmut Siehler zugeschriebene Weisheit gilt heute erst recht. Dagegen gesetzt werden kann dennoch, dass die Erfahrungen von gestern Grundlagen für die Vorteile von morgen sind. Die Emailindustrie war in den letzten

Jahren sehr erfolgreich und hat Konzepte für Oberflächen entwickelt, die robust sind, gut aussehen und lange halten. Maßgeblich war dabei der technologische Fortschritt, mit dem immer dünnere Emailsichten möglich wurden. Ein Glasstab bricht, eine Glasfaser ist biegsam. Somit ist die Gefahr des Abplatzens bei den heutigen dünnen Emailsichten nicht mehr gegeben. Nur grober Gewalteinwirkung halten sie nicht stand – doch wer oder was kann das schon? Emaillierte Produkte überzeugen heute durch Design, Funktion und Langlebigkeit.



Dauerprüfung eines Backbleches mit verschiedenen Reinigungsmedien (Bild: Miele & Cie. KG)

Trägermaterialien

Bei jedem Trägerwerkstoff sind die chemischen Zusammensetzungen, die technischen Kennwerte und das Reaktionsverhalten unter Emaillierbedingungen zu beachten. Eine Emaillierung verbindet die Eigenschaften des Substrates (Festigkeit, Formstabilität) mit denen des glasartigen Überzugs (Härte, chemische Beständigkeit, Korrosionsbeständigkeit usw.). Stahl ist der wichtigste Trägerwerkstoff für die industrielle Emaillierung. Die Auswahl der geeigneten Trägermaterialien stellt die Basis für die Qualität des emaillierten Endproduktes dar.

Emaillierfähige Metalle

- konventionelles Stahlblech
- C-armes Stahlblech (VAC-Stahl, OC-Stahl)
- Edelstahl
- Gusseisen
- Aluminium-Legierung
- Magnesium-Legierung
- Halbedel- und Edelmetalle (Kupfer, Silber, Gold, Platin).

Bei der industriellen Emaillierung spielt Stahl als Trägerwerkstoff die dominierende Rolle. Der Anteil von Gusseisen liegt im niedrigen Prozentbereich. Edelstahl und Aluminium-Legierungen werden noch deutlich geringer verwendet. Eine differenzierte Betrachtung ist deshalb besonders für die emaillierfähigen Stahlgüten notwendig.



Hochofenabstich (Bild: ThyssenKrupp Steel Europe AG)

Grundsätzliche Anforderungen an einen emailierfähigen Stahl

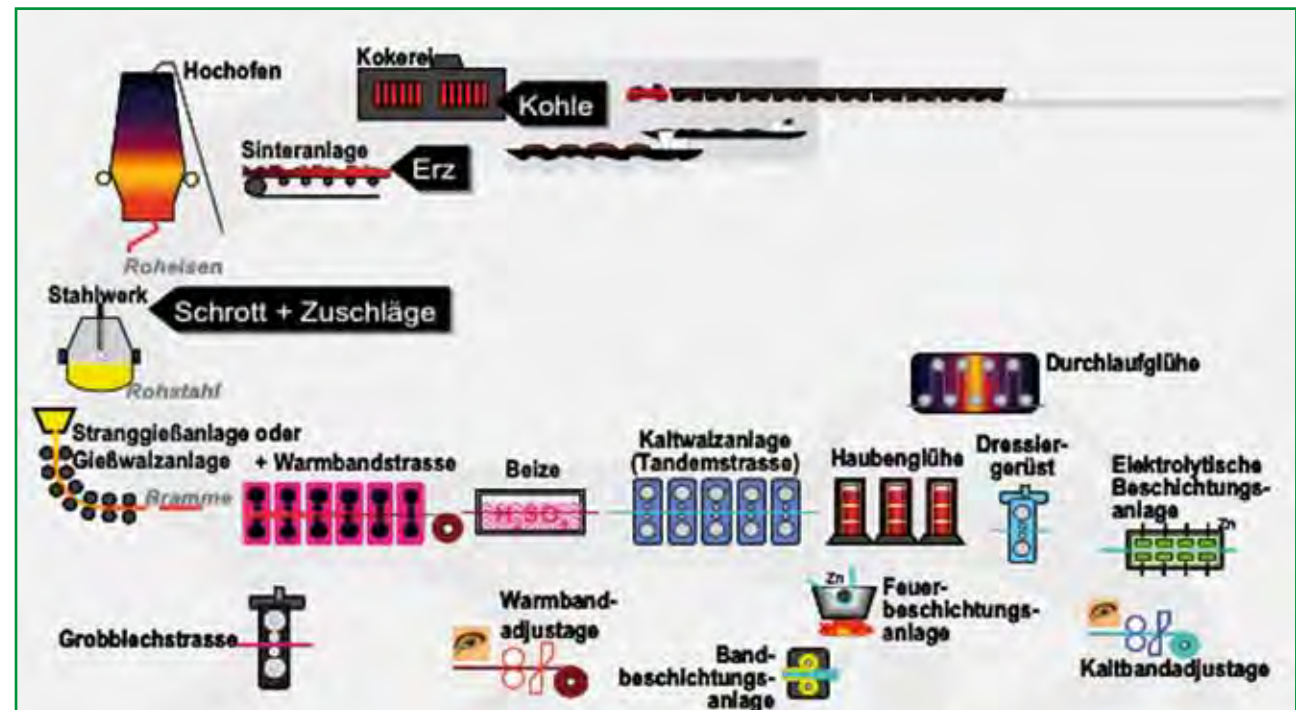
- frei von Schlackeeinschlüssen und ohne Walz- oder andere Oberflächenfehler
- einwandfreie Zieheigenschaften und Alterungseigenschaften
- Vorbehandlungsverfahren in relativ kurzer Zeit durchführbar
- bis maximal 2 mm Stahlblechdicke durchschnittliche Ferritkristallgröße von nicht mehr als 0,35 mm
- Kohlenstoff im Stahl mit gleichmäßiger Verteilung.



Stahlwerk (Bild: ThyssenKrupp Steel Europe AG)

Einfluss der Stahlblecherzeugung auf den Emailierprozess

Die Auswahl der für den Emailierprozess geeigneten Stahlsorte stellt die Basis für die Qualität des Endproduktes dar. Diese Auswahlentscheidung setzt Kenntnisse der bei der Stahlerzeugung eingesetzten Technologien sowie der hieraus abzuleitenden emailtechnischen Stahleigenschaften voraus.



Ablaufschema: Stahlblecherstellung (Grafik: ThyssenKrupp Steel Europe AG)

Ein Überblick der einzelnen Schritte bei der Stahlblecherzeugung vermittelt das gezeigte Ablaufschema (siehe Abbildung unten). Im Hochofen wird aus Eisenerz, Koks und Schlacke bildenden Zuschlägen bei Temperaturen von 1.300 bis 1.400 °C das Roheisen erschmolzen. Dabei werden die Gehalte an Kohlenstoff sowie bestimmten Legierungs- und Spurenelementen im Hinblick auf den weiteren Fertigungsprozess durch eine entsprechende Zusammensetzung der Einsatzstoffe eingestellt.

Typischerweise enthält das Roheisen folgende Bestandteile:

C:	3,5 – 4,5 %
Si:	0,4 – 1,0 %
Mn:	0,4 – 1,0 %
P:	0,08 – 0,3 %
S:	max. 0,04 %.

Bei der Umwandlung des Roheisens in Stahl werden die Begleitelemente C, Si, Mn, P, S entfernt. Dazu wird das flüssige Roheisen im Blasstahlkonverter zu Rohstahl gefrischt, in dem die Begleitelemente durch Aufblasen von Sauerstoff oxidieren und aus dem Stahl entfernt werden. Durch Zusatz von Eisenschrott wird eine unkontrollierte Temperaturerhöhung vermieden und gleichzeitig ein wichtiger Beitrag zum Recycling von Stahlprodukten geleistet. Der so erzeugte Rohstahl wird analysiert und

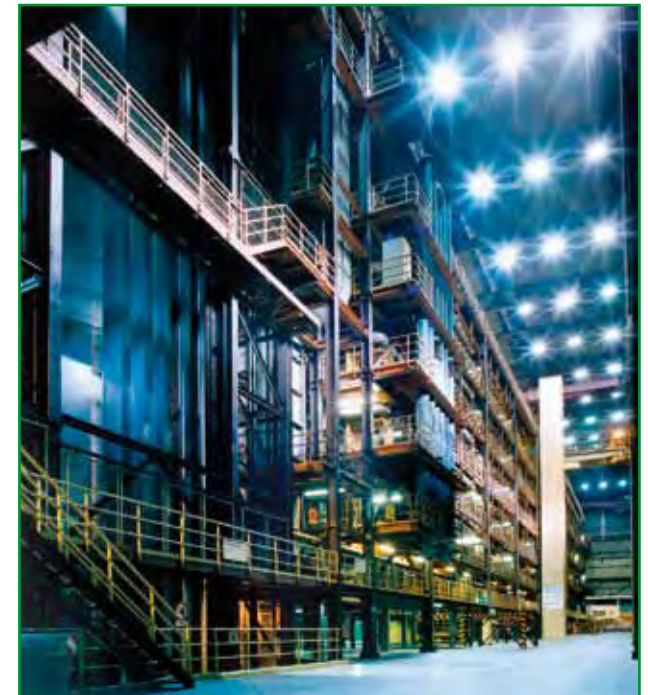
der Rohstahlbehandlung (Sekundärmetallurgie) zugeführt. Die anwendungsbezogen gewünschte chemische Stahlzusammensetzung wird durch den Einsatz von Legierungs- und Desoxidationsmitteln eingestellt. Der Abkühlprozess der Stahlschmelze hat emailtechnische Auswirkungen. Kann die Schmelze „unberuhigt“ erstarren, d. h., ohne Zugabe von Desoxidationsmitteln, ist dies emailtechnisch besonders vorteilhaft. Erstarrt die Schmelze unter Zugabe von Desoxidationsmitteln „beruhigt“, haben diese Stähle günstige metallurgische Verarbeitungseigenschaften, z. B. gute Zieh- und Verformungseigenschaften.



Stranggussanlage (Bild: ThyssenKrupp Steel Europe AG)



Haubenglühe (Bild: ThyssenKrupp Steel Europe AG)



Contiglühe (Bild: ThyssenKrupp Steel Europe AG)

Nach erfolgter Homogenisierung und Optimierung der Stahlzusammensetzung wird der flüssige Stahl zu Brammen von etwa 250 mm Dicke und bis zu 2.000 mm Breite vergossen. Nach dem Erkalten werden die Brammen dem Breitbandwalzwerk zugeführt. Hier erfolgt nach dem Wiederaufheizen auf die erforderliche Walztemperatur von 1.100 bis 1.300 °C das Auswalzen der Brammen zu einem Warmband von 2 bis 6 mm Dicke. Nach dem Walzvorgang hat das Warmband noch eine Temperatur von 850 bis 930 °C. Für das anschließende Aufwickeln des Stahls zu einem Coil werden Haspeltemperaturen von 500 bis 750 °C eingestellt. Die Wahl der Haspeltemperatur ist insbesondere für die mechanischen und emailtechnischen Eigenschaften des Endproduktes von Bedeutung. Eine hohe Haspeltemperatur hat Vorteile für den Emaillierprozess. Eine niedrige Haspeltemperatur begünstigt die Umformeigenschaften sowie die Beizgeschwindigkeit.

Das so hergestellte Warmband ist prinzipiell einsatzbereit zur Verwendung im Emaillierwerk. Mengenmäßig für Emaillierzwecke wird Warmband größtenteils zu Kaltband weiterverarbeitet. Im Kaltbandwerk erfolgt unter hohem Druck eine weitere Reduzierung der Blechdicke um 50 bis 80 %. Dabei wird das Gefüge des Stahls verfestigt. Vor einer weiteren Umformung müssen das Gefüge durch Glühen entfestigt und Spannungen im Stahl abgebaut werden. Je nach geplanter Verwendung kann das Glühen in einem Haubenofen (Festbund und Open-Coil) oder in einem Durchlaufofen (Kontiglühe) erfolgen. Zur Vermeidung einer Oxidation der Stahloberfläche wird grundsätzlich unter Schutzgas geglüht. Die unterschiedlichen Glühverfahren haben Einfluss auf



Stahlcoils, kaltgewalzt (Bild: ThyssenKrupp Steel Europe AG)



Warmband (Bild: ThyssenKrupp Steel Europe AG)

die weitere Stahlverarbeitung. Mit einem geringen Nachwalzen nach dem Glühen (Dressieren) ist die Stahlblecherzeugung abgeschlossen. Die Coils bzw. Blechtafeln können jetzt direkt oder über Stahl-Service-Center an die emaillierende Industrie versandt werden.

Stahlsorten/Lieferformen

Die lieferbaren Güten sind dem aktuellen Lieferprogramm der Stahlindustrie zu entnehmen. Die Auswahl der für den vorgegebenen Verwendungszweck notwendigen Stahlsorte erfolgt in der Regel in enger Abstimmung zwischen Emaillierwerk und Stahllieferant. Dabei sind die gewünschten Umformeigenschaften des Stahls ebenso zu berücksichtigen wie die speziellen emailtechnischen Erfordernisse.

Je nach Blechdicke wird zwischen Grobblech (warmgewalzter Stahl einer Enddicke von > 3 mm) und Feinblech (warm- bzw. kaltgewalzter Stahl mit einer Enddicke zwischen 0,35 und 3 mm) unterschieden. Die Lieferung erfolgt als Coil in definierter Breite oder in Form von vorgeschrittenen Tafeln definierter Abmessungen.

Emailierfähiger Stahl

Kaltgewalzter Stahl

Kaltgewalzter Stahl im Dickebereich zwischen 0,35 und 3,0 mm nimmt unter den emailierfähigen Stahlsorten eine besondere Stellung ein, da er gleichermaßen für die Emaillierung von Sanitärgegenständen (Wanne, Dusche, Waschbecken), Haushaltsgeräten, Geschirr, Architekturpaneelen, Schildern und weiteren Anwendungen geeignet ist. Diese Stähle weisen aufgrund des niedrigen Kohlenstoffgehaltes von < 0,08% eine ausgezeichnete Kaltumformbarkeit und Emailierfähigkeit auf. Die verschiedenen Sorten der kaltgewalzten Emailierstähle sind in der EN 10209 festgelegt. Die abgebildete Tabelle gibt Hinweise, welche Stahlsorten bei welchem Emailierverfahren eingesetzt werden können. Entsprechende Empfehlungen sind produktbezogen auch im Handbuch „Qualitätsanforderungen“ der European Enamel Authority e.V. von der 4. Auflage an enthalten.

Warmgewalzter Stahl

Warmgewalzter Stahl mit Blechdicken von über 3 bis 40 mm wird in der Emailindustrie hauptsächlich im Boiler- und Apparatebau sowie für segmentierte Stahlbehälter verwendet. Neben einer guten Emailierfähigkeit werden hohe Anforderungen an die Umform- und Schweißbarkeit sowie die Festigkeit vor bzw. nach der Emaillierung gestellt. Sowohl für die einseitige als auch die beidseitige Emaillierung stehen warmgewalzte Stähle zur Verfügung, die in der EN 10025 und EN 10111 mit ihren technologischen Voraussetzungen beschrieben sind.

Grundsätzliche Eigenschaften von emailierfähigem Stahl
 Emailierfähiger Stahl muss die gewünschten Umformbedingungen erfüllen. Das Umformverhalten von Stählen wird vorzugsweise durch die mit einem Zugversuch ermittelten mechanischen Kennwerte bestimmt. Neben diesen im Wesentlichen durch den Prozess der Stahlblecherzeugung vorgegebenen Eigenschaften wird das Umformverhalten auch durch verarbeitungstechnische Parameter, wie durch z. B. Werkzeuggeometrie, -einstellung und -zustand beziehungsweise Art und Menge der Schmiermittel, stark

beeinflusst. Der Zugversuch dient zur Ermittlung des Stahlblechverhaltens bei einachsiger, gleichmäßiger über den Probenquerschnitt verteilter Zugbeanspruchung.

Chemische Zusammensetzung

Die chemische Zusammensetzung des Stahls wird im Wesentlichen durch die im Stahlwerk verwendeten Primärrohstoffe (Eisenerz, Schrott etc.), die aus metallurgischen beziehungsweise emailtechnischen Gründen gezielt beigefügten Legierungs- und Desoxidationsmittel (Verbindung von Aluminium,

EN 10209 : Cold rolled steels for enamelling - Design 2013						
Characterisation	Mechanical properties - Tensile test				Analysis	
	Re max. [MPa]	Rm [MPa]	A80 min. [%]	r min.	Max C [%]	Max Ti [%]
DC 01 EK	270	270-390	30	-	0.08	----
DC 04 EK	220	270-350	36	-	0.08	----
DC 05 EK	220	270-350	36	1.5	0.08	----
DC 06 EK	190	270-350	38	1.6	0.02	0.30
DC 03 ED	240	270-370	34	-	0.004	----
DC 04 ED	210	270-350	38	-	0.004	----
DC 06 ED	190	270-350	38	1.6	0.02	0.30

EN 10025 & EN 10111 : Hot rolled steels						
Characterisation	Mechanical properties - Tensile test				Analysis	
	Re max. [MPa]	Rm [MPa]	A80 min. [%]	r min.	Max C [%]	Max Mn [%]
S235S	>235	360-510	>19	-	0.17	1.4
S275S	>275	430-580	>16	-	0.18	1.5
DD11	170-340	<440	>24	-	0.12	0.6

Phosphor, Bor, Stickstoff, Titan etc.) sowie die Wahl der sekundärmetallurgischen Verfahren (Desoxidation, Entkohlung, Entschwefelung etc.) bestimmt. Durch Einsatz modernster Prozesstechnologie, verbunden mit Online-Analytik und computergestützter Steuerung, kann die Stahlzusammensetzung bis auf wenige ppm exakt eingestellt werden. Hierdurch ist es möglich, sowohl Umformeigenschaften als auch die chemische Reaktivität des Stahls, sein Verhalten gegenüber Beizsäuren, Luftsauerstoff, Wasserstoff, aufschmelzendem Email etc. gezielt zu beeinflussen und entsprechend der jeweiligen Anforderung einzustellen.

Emaillierfähigkeit

Bei der Emaillierung kommt es in erster Linie auf eine gute Emailhaftung sowie auf eine funktional einwandfreie Emailoberfläche an. Optimale Emaillierresultate lassen sich nur durch sorgfältige Abstimmung aller Verfahrensschritte im Emaillierwerk erzielen. Hierzu gehört ganz wesentlich die Auswahl der für den jeweiligen Verwendungszweck geeigneten Stahl- bzw. Gusssorten. Detaillierte Hinweise enthalten das Handbuch „Qualitätsrichtlinien“ der European Enamel Authority e.V. ab der 4. Auflage sowie die Empfehlungen der Normen. Durch geeignete Wareneingangstests und Prüfungen im Emaillierwerk ist die Emaillierfähigkeit sicherzustellen. Im Einzelfall können auch spezielle Prüfungen zwischen abnehmendem Emaillierwerk und Stahl- bzw. Gusshersteller vereinbart werden.

Eigenschaften von Email und Stahlblech

Eigenschaft	Email	Stahl
• Druckfestigkeit /MPa	800..1.200	2.000
• Zugfestigkeit /MPa	70..90	400
• ADK /10 ⁻⁷ K ⁻¹	80..95	135
• E-Modul /MPa	70.000	210.000
• MHV /MPa	6.000	1.100
• Bruchdehnung /%	0,15..0,30	25
• Wärmeleitzahl /kJ/mK	3,35	188
• spez. Wärme /kJ/mK	0,84	0,46
• spez. ektr. Wdst. /Ohm cm	1.012..1.014	0,002
• Dichte /g cm ⁻³	2,5	7,8
• Schmelztemperatur /°C	960	1.510

Gusseisen

Bei der industriellen Emaillierung spielt Gusseisen als Trägerwerkstoff eine deutlich geringere Rolle als Stahl. Gusseisen wird hauptsächlich für Armaturen, Rohre, Topfträger, Geschirre und Kaminöfen emailliert.



Herstellung von Gusseisen (Bilder (3): Dovre NV)

Metall- vorbehandlung

Durch eine Metallvorbehandlung wird der für das jeweilige Emaillierverfahren erforderliche Ausgangszustand der Metalloberfläche geschaffen. So ist höchste Oberflächensauberkeit des Metallsubstrates für ein gutes Emaillierergebnis erforderlich. Deshalb sind Reste von Korrosionsschutzölen, Ziehhilfsmitteln und gegebenenfalls anhaftender Flugrost von der Metalloberfläche zu entfernen. Für spezielle Emaillierverfahren, z. B. einer Direktweißemallierung, ist die Herstellung einer besonders reaktionsfähigen Schicht auf dem Stahlblech erforderlich.

Die Metallvorbehandlung von Stahlblechen erfolgt im Emaillierwerk durch Wasch- bzw. Beizverfahren. Nur in Sonderfällen kann unter Beachtung bestimmter Randbedingungen, z. B. beim Pulverauftrag, auch ohne Vorbehandlung emailliert werden. In diesen Fällen ist eine exakte Abstimmung zwischen Stahl- und Emailhersteller sowie Emaillierwerk erforderlich.

Zu emaillierende Gussteile sind durch Strahlverfahren vorzubehandeln. In Sonderfällen wird Strahlen oder Bürsten aber auch für Stahlbleche, z. B. bei dicken, warmgewalzten Blechen, eingesetzt. Emaillierfähiges Aluminium wird in wässrigen, alkalischen Emulsionen vorbehandelt und in schwachsauren Lösungen passiviert.



Spritzvorbehandlungsanlage (Bild: EISENMANN Anlagenbau GmbH & Co. KG)

Die notwendige Metallvorbehandlung geschieht im kritischen Dialog unter ökologischen und ökonomischen Aspekten. Kann bei einer vollautomatisierten Großserienproduktion gegebenenfalls direkt vom Stahlcoil emailliert werden, so bedarf es bei kleinen Losgrößen oder einer Einzelfertigung weiterhin einer Vorbehandlung, die durch Tauch- bzw. Spritzprozesse erfolgen kann.



Spritzvorbehandlungsanlage
(Bild: EISENMANN Anlagenbau GmbH & Co. KG)



Tauchvorbehandlungsanlagen (Bild: EISENMANN Anlagenbau GmbH & Co. KG)



Konstruktionshinweise

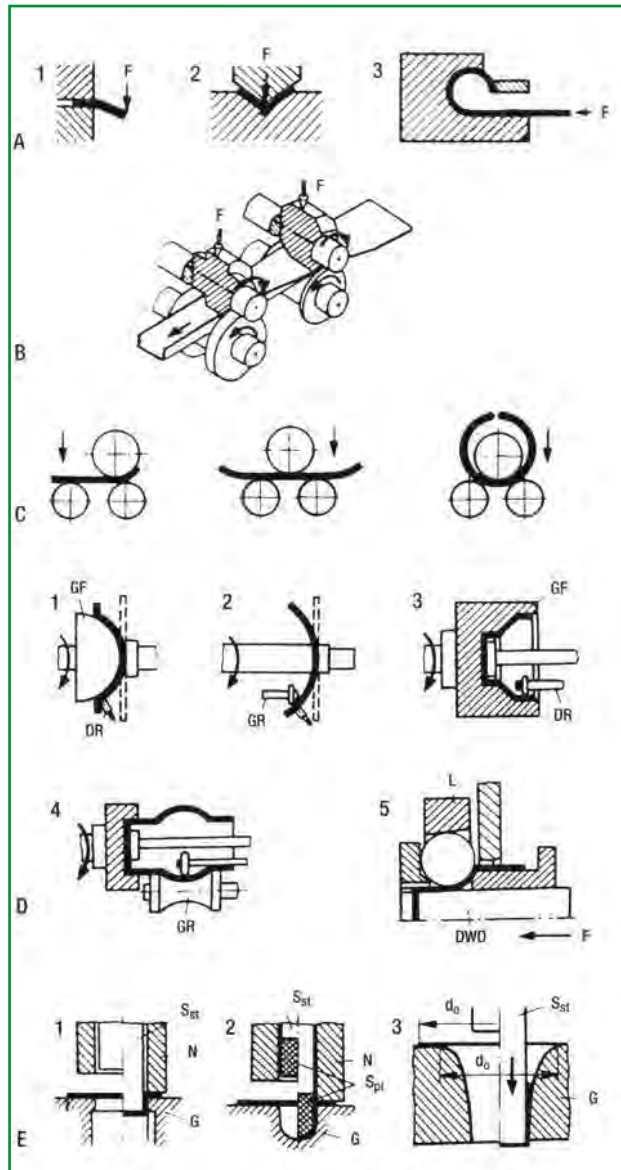
Bei der Herstellung emailierter Qualitätsprodukte ist die Einhaltung spezieller Regeln für die konstruktive Gestaltung unabdingbar. Materialdicke, Formgebung und Emailverfahren sind möglichst frühzeitig aufeinander abzustimmen, da nachträgliche Korrekturen bzw. Reparaturen nicht oder nur mit hohem Aufwand möglich sind. Als allgemeiner Grundsatz muss bei der Konstruktion der glasartige Charakter der Emailschrift berücksichtigt werden („Werkstoffgerechte Konstruktion“). Dies betrifft sowohl die Schichtstärken als auch die Krümmungsradien.

Materialdicke

Die erforderlichen Material- bzw. Blechdicken richten sich sowohl nach den mechanischen Anforderungen an den Verbundwerkstoff Stahl/Email als auch nach den beim Emailbrand erzeugten Spannungen innerhalb der Emailschrift und an der Grenzfläche bzw. Formänderungen.

Zuschnitt

Die Blechbearbeitung beginnt mit dem Zuschnitt geeigneter Rohbleche. Die Ausprägung und die Lage von Schnittgraten sind entscheidend für die Qualität der emailierten Gegenstände. Das Zerteilen erfolgt durch Ausschneiden oder Stanzen in einem oder mehreren Arbeitsgängen. Stückzahlbezogen können Umformprozesse kombiniert werden. Im Ergebnis sollten die Schneidelemente so



Prinzipdarstellung der gebräuchlichsten Umformverfahren
(nach Blume, Grüning, Oehler, Wenke)

- A Biegen mit geradliniger Werkzeugbewegung
 1 Schwenkbiegen
 2 Gesenkbiegen
 3 Rollbiegen
 B Walzprofilieren
 C Runden (Biegewalzen)
 D Formdrücken
 Außenformdrücken:
 1 über Gegenfutter (GF)
 2 über Gegenrolle (GR)
 Innenformdrücken:
 3 über Gegenfutter
 4 über Gegenrolle
 5 Fließdrücken
 DR Drückrolle, DWD Drückwalzdorn
 L Laufring
 E Tiefziehen
 1 Formstempelziehen
 2 Gesenktiefziehen
 3 Formstempelziehen ohne Niederhalter
 S_{st} Starrer Stempel, S_{pl} plastischer Stempel,
 N Niederhalter, G Gesenk

(Bild links: DEZ/SIZ)

ausgerichtet werden, dass die gerundete Kante im mechanisch beanspruchten bzw. im Sichtbereich liegt, während der Grat auf der entgegengesetzten Seite liegt. Bei der Emaillierung von Kanten mit scharfem Grat ist darauf zu achten, dass der Emailauftrag weder zu dünn noch zu dick erfolgt. Anderenfalls bleibt der Grat nach Einbrand sichtbar bzw. es gibt eine Kantenverdickung, die zu Abplatzungen neigt. Bei zunehmender Blechdicke sollen exponierte Außenkonturen durch spanende Nacharbeit verrundet werden.

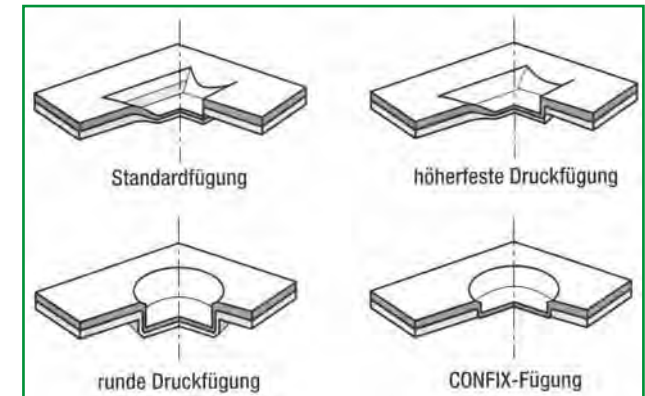
Bei entsprechenden Losgrößen oder komplexen Konturen können alternativ auch Schneidlasen verwendet werden. Die computergestützten Anlagen sind sehr flexibel einsetzbar und können mit mechanischen Trennverfahren wie Nibbeln oder Stanzen kombiniert werden.

Kaltumformen

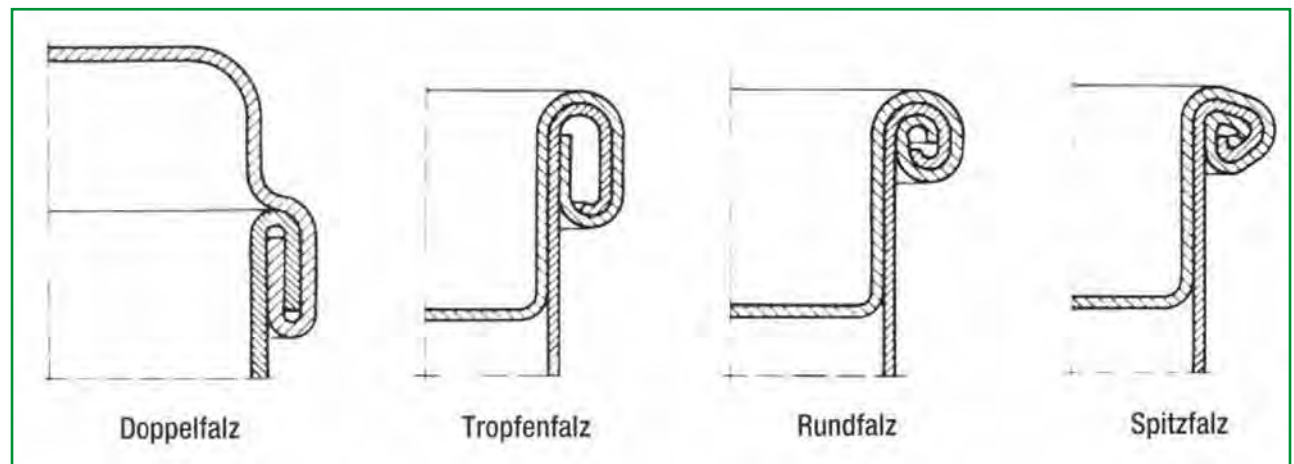
Die in der Emailindustrie üblichen Umformverfahren werden schematisch dargestellt (siehe Abbildung). Stahlbleche < 3 mm werden vorzugsweise durch Tiefziehen und Formdrücken, aber auch durch Biegen umgeformt. Das Umformen von Grobblechen über 3 mm erfolgt durch Formdrücken und Biegen einschließlich Runden. Ein geeignetes Tiefziehblech hält mehrere Ziehvorgänge aus. Oftmals ist jedoch nur ein Ziehvorgang erforderlich. Auch Stahlblechbadewannen werden so hergestellt. Das Formänderungsverhalten stellt ein wichtiges Kriterium für die Konstruktion dar. Es kann durch Formänderungsanalysen ermittelt werden, um Emailfehler von vornherein auszuschließen.



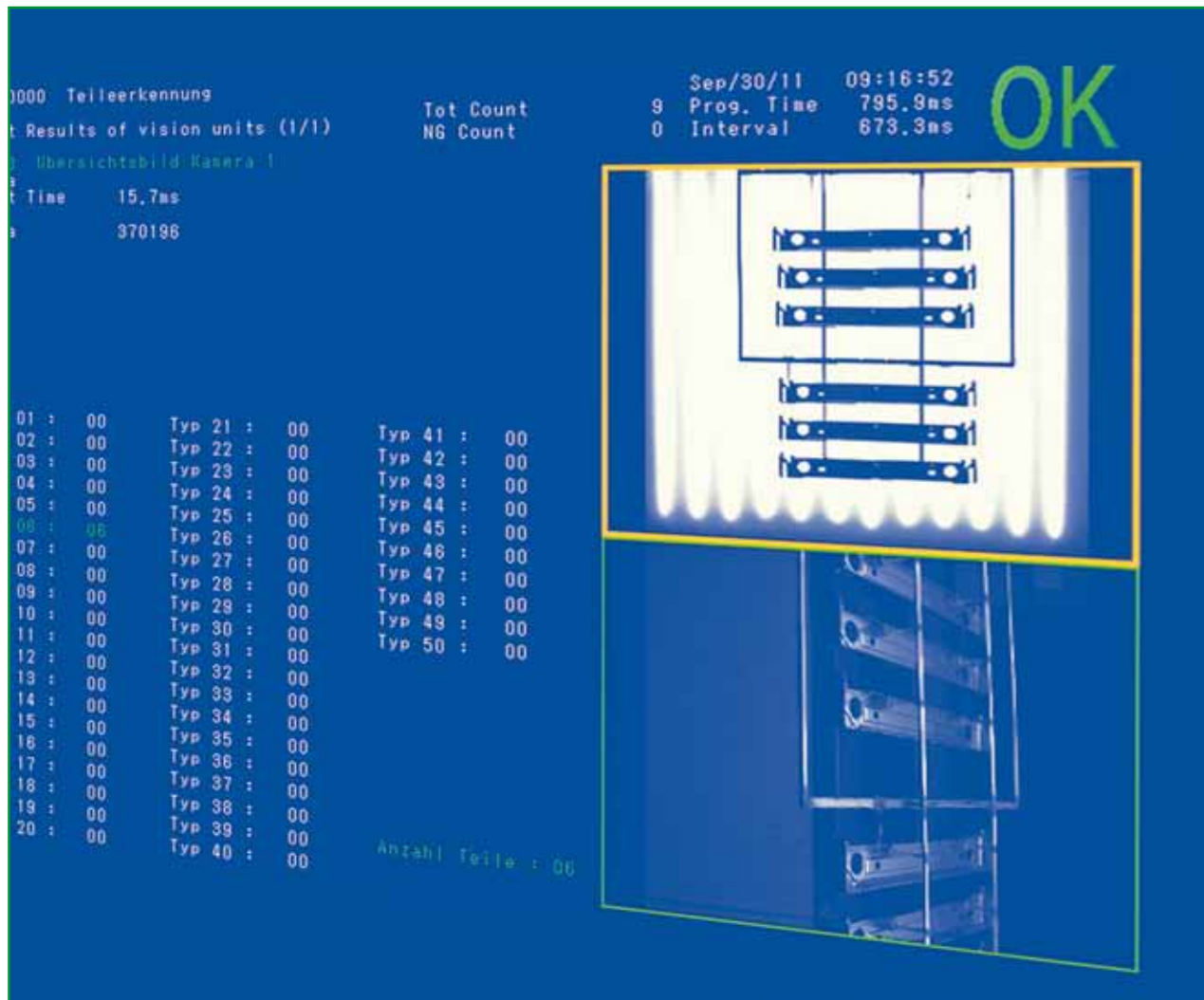
Backbleche – vom Rohling zum Endprodukt (Bild: Miele & Cie. KG)



Druckfüge-Elemente (Bild: DEZ/SIZ)



Falzformen (Bild: DEZ/SIZ)



Lochungen

Die fertig zugeschnittenen und kaltumgeformten Bleche weisen in der Regel Löcher und Aussparungen unterschiedlicher Form und Funktion auf (Befestigungselemente für Schrauben, Zu- und Abflüsse, etc.). Lochdurchmesser sind so zu wählen, dass sie sich beim Emaillieren nicht zusetzen können.

Der Abstand zum Rand bzw. zwischen den Löchern sollte das Fünffache der Blechdicke betragen. Dadurch wird eine ungleichmäßige Spannungsverteilung in der Emailschicht vermieden. Löcher sollten auch weit genug von Biegekanten angeordnet sein. So werden Beschädigungen in Biegeradien durch Befestigungselemente vermieden. Löcher dürfen beim Biegen nicht deformiert werden. Gebohrte oder gefräste Löcher in Grobblechen sind beidseitig zu entgraten. Bei gestanzten Löchern in Grobblechen ist eine Verrundung der Gratseite erforderlich.

Teilerfassung/-erkennung mittels Kamera (Bild: KÜBLER ESSIG Maschinenbau GmbH)

Allgemeine Konstruktionsregeln

Bei der Konstruktion von zu emaillierenden Teilen ist der glasartige Charakter des Emails und der entstehenden Emaillierung ständig zu berücksichtigen. Auch während des Gebrauchs von emaillierten Erzeugnissen muss die Druckspannung in der glasartigen Schicht erhalten bleiben.

Dazu gehört:

- die Auswahl des passenden Emails (Verhältnis der thermischen Ausdehnungskoeffizienten von Substrat und Emailschiicht)
- die Einhaltung gleichmäßiger Wanddicken
- die Gewährleistung allmählicher Übergänge zwischen verschiedenen Stärken des Metallsubstrats (einfache und symmetrische Formen) auch bei Versteifungen.

Radien und Blechdicken

Bei zu kleinen Radien können Scherspannungen auftreten, die unbedingt zu vermeiden oder wenigstens zu minimieren sind. Es kann bei zu kleinen Radien zum Zurückziehen des Emails von Kanten bzw. der Anhäufung in Ecken kommen. Tabelle der notwendigen Mindestradien:

Emailart	Emaildicke (mm)	Mindestradius (mm)
Grundemail	0,10.....0,15	2,0.....3,0
Direktemail	0,12.....0,20	3,0.....4,0
2c/1f-Email	0,15.....0,25	3,5.....4,5
GE + DE		
ADK > 100 • 10 ⁻⁷ K ⁻¹	0,30.....0,50	4,0.....5,0
ADK > 100 • 10 ⁻⁷ K ⁻¹	0,20.....0,40	4,5.....5,5
Gusspulderemail	0,60.....1,50	5,0...10,0

Trägermetalle dürfen nicht zu dünn sein, um durch eine ausreichende Formfestigkeit Deformierungen der Konstruktion während des Emailleinbrands zu vermeiden. In der nachfolgenden Tabelle sind Richtwerte für Mindestdicken aufgelistet:

Länge (mm)	Breite (mm)	Blechdicke (mm)
< 600	< 300	0,6
600....800	300....500	0,8
800....1.500	500....650	1,0
1.500....2.500	650....900	1,25
> 2.500	> 900	1,5

Für bestimmte Anwendungen sind unterschiedliche Wanddicken des Metallsubstrates notwendig. Innerhalb eines Produktes sollten Wanddicken-Unterschiede nach Möglichkeit vermieden werden. Ansonsten entstehen beim Abkühlen durch unterschiedliche Abkühlgeschwindigkeiten innerhalb des Werkstücks Zugspannungen im Email, die zu Rissen führen können. In nachfolgender Tabelle sind typische Wanddicken ausgewählter Erzeugnisse aufgelistet:

Erzeugnis	Wanddicke (mm)	
	Stahl	Gusseisen
kleine Schilder	0,6....0,9	
gr. Schilder, Bautafeln	1,0....2,5	
Flachteile (Küche)	0,6....0,9	
Ofen- und Herdteile	0,6....1,5	3,0....4,0
leichtes Geschirr	0,4....0,8	
schweres Geschirr	1,8....2,5	2,5....3,5
Laugenbehälter	1,1....1,5	
Spülen, Waschbecken	1,0....1,5	3,0....4,0
Badewannen	1,6....2,8	4,0....6,0
Apparateteile	4,0....30,0	10,0....80,0

Spalten, Schlitze, Durchbrüche

Derartige Konstruktionsdetails sollen bei zu emaillierenden Teilen möglichst vermieden werden. Unvermeidliche Spalten sollen mindestens 2 mm, besser 5 mm breit sein. Die Gefahr bei zu schmalen Spalten besteht darin, dass Rückstände aus der chemischen Vorbehandlung während des Einbrennprozesses austreten und zu Blasen und/oder Verfärbungen im Email führen. Um das Zusetzen von Spalten, Schlitzten und Durchbrüchen beim Emailauftrag durch Tauchen oder Fluten zu vermeiden, sollen bei Durchbrüchen die Durchmesser > 7 mm und die Schlitzbreite > 5 mm betragen. Beim Spritzauftrag können die Durchbrüche kleiner sein. Beim PUESTA und ESTA müssen bei der Konstruktion die Wirkung des Faraday-Käfigs berücksichtigt werden.

Fügetechniken

Bei zu emaillierenden Gegenständen sind die Zwischen- oder Fertigprodukte meist aus mehreren Einzelteilen oder Baugruppen zusammengesetzt. Die Festlegung des Fügeverfahrens richtet sich nach dem für die jeweiligen Teile optimalen Fertigungsablauf sowie den gewünschten Gebrauchseigenschaften. Es wird unterschieden in:

- unlösbare Verbindungen, die bereits vor dem Emaillieren durch Falzen, Druckfügen, Nieten oder Schweißen hergestellt werden
- (bedingt) lösbare Verbindungen, die erst nach dem Emaillieren durch Kleben oder Schrauben aus Einzelteilen hergestellt werden.

Falzen

Falzverbindungen sind durch Umformen gebildete, fest ineinander greifende Verbindungen. Moderne Fügeverfahren haben das Falzen weitgehend verdrängt. Wird es dennoch angewandt, sind die Einzelteile vor dem Falzen zu reinigen und darauf zu achten, dass die Fugen dicht schließen (minimale Hohlrumbaftung).

Druckfügen

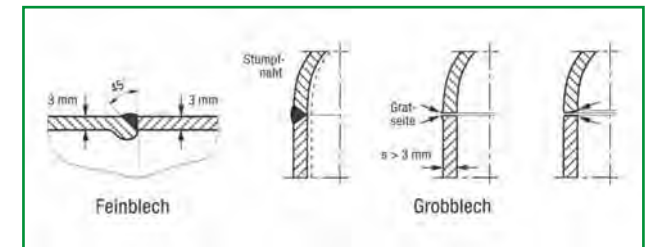
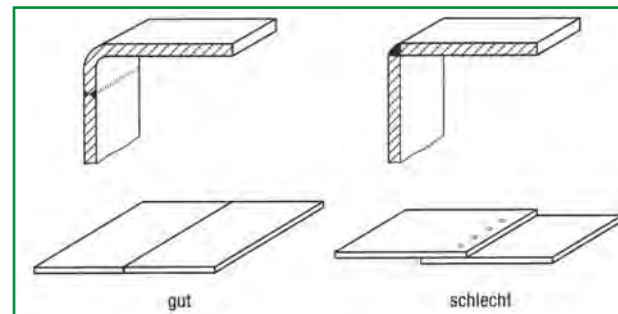
Fügen von Blechteilen ohne spezielle Vorbehandlung, ohne Wärmeeinwirkung und ohne Zusatzwerkstoffe durch Kaltumformung, bis zu Blechdicken von max. 4 mm. Druckfügen wird auch als Clinchen bezeichnet.

Schweißen

Dieses Fügeverfahren ist das mit Abstand wichtigste Verfahren zur Erzeugung von komplexen Bauteilen, die nicht, z. B. durch Umformung, direkt hergestellt werden können. Beim Verbindungsschweißen wird zwischen Pressschweißen (Zusammenführung unter Anwendung von Druck im teigigen Zustand) und Schmelzschweißen (Zusammenführung im flüssigem Zustand der Schweißteile) unterschieden.

Für eine emailgerechte Schweißausführung sind folgende Punkte zu beachten:

- die Blechdicken der zu verbindenden Einzelteile sollten möglichst gleich sein
- die Fügestellen müssen gereinigt und entfettet sein
- die Schnittkanten sollten Grate haben und ebene Flächen möglichst einander zugekehrt sein, um den Fügespalt zu schließen
- Schweißzusatzwerkstoff und Stahlblech sollten nach Möglichkeit aus artgleichem Material bestehen
- Materialanhäufungen sind möglichst gering zu halten
- Überlappnähte und scharfe Ecken sind zu vermeiden.



Ausführung von Schweißnähten – Widerstandsschweißung, lks., und Schweißnahtgestaltung für Schmelzschweißungen (Bilder: DEZ/SIZ)

Kleben

Bei vielen Bauteilen haben Klebeverbindungen die Funktion von Schweiß-, Niet-, oder Schraubverbindungen übernommen. So konnte die konstruktive Gestaltung bzw. der Fertigungsprozess bei vielen Bauteilen vereinfacht werden. Durch die eingeschränkte Temperaturbeständigkeit der Klebstoffe kann das Fügen erst nach dem Emaillieren mit 1- bis 2-Komponenten-PU-Klebern erfolgen. Für eine gute Klebeverbindung sollte die Emailoberfläche möglichst rau sein, da hierdurch die Haftung wesentlich verbessert wird. Insbesondere bei dicken Blechen müssen die Oberflächen eine Mindestparallelität aufweisen.

Schrauben

Schraubverbindungen an emaillierten Gegenständen sind

- bei der Montage von Zu- und Ableitungen (Sanitärbereich)
- bei der Befestigung von Behälterverschlüssen
- beim Aufbau von Baugruppen aus Einzelteilen (z. B. segmentierte Stahlbehälter) erforderlich.

Grundsätzlich sind bei Schraubverbindungen folgende Punkte zu beachten:

- ungünstig sind Innengewinde an innen emaillierten Teilen bzw. Außengewinde an außen emaillierten Teilen
- versenkte Schraubenköpfe sind besser als sichtbare (gute Zentrierung, leichtere Reinigung der Flächen)
- besonders geeignet sind Unterlegscheiben aus Kunststoff, da diese eine Beschädigung der Emaillierung durch den Schraubenkopf vermeiden und eine leichte Reinigung ermöglichen.

Großbehältermontage (Bild: Pfaudler Werke GmbH)



Email

Herstellung

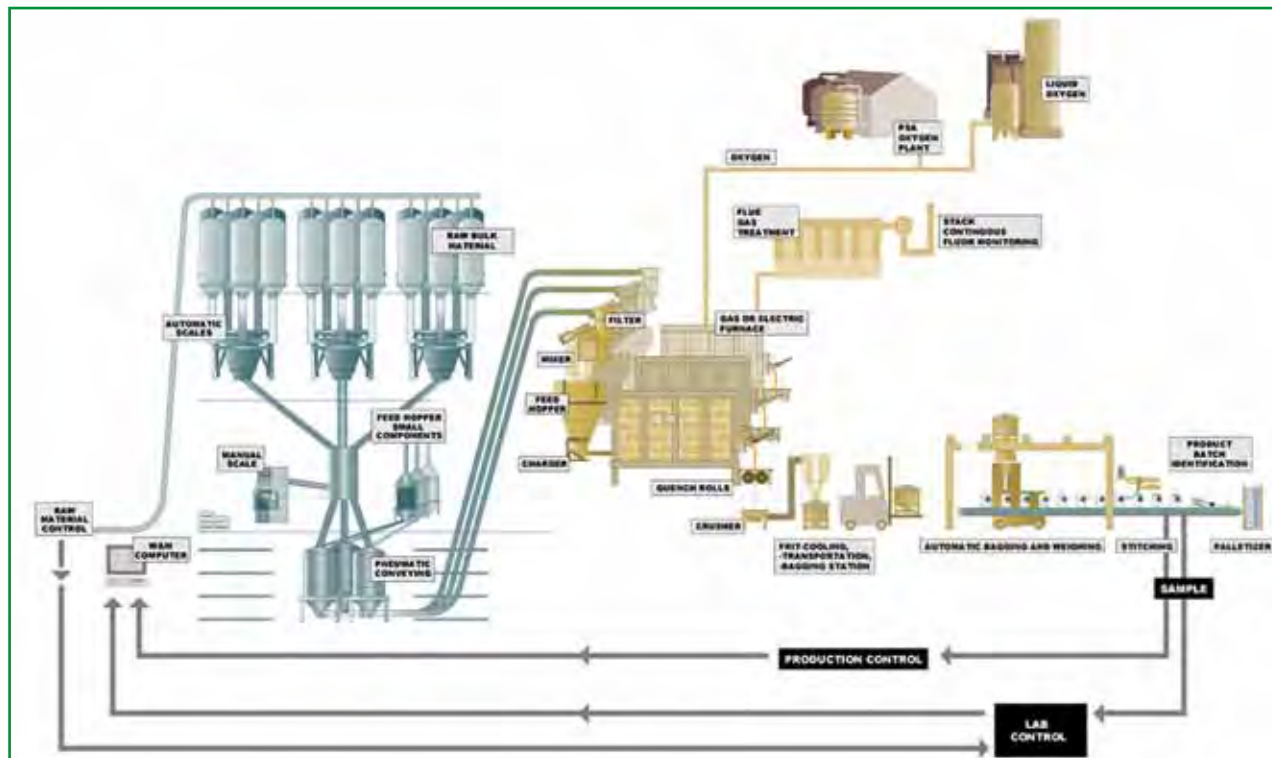
Bis auf wenige Ausnahmen werden Emails heute fast ausschließlich bei darauf spezialisierten Unternehmen hergestellt. Die erschmolzenen und thermisch abgeschreckten, emailbildenden Gläser werden auch als Emailfritten bezeichnet (siehe Begriffe und Definitionen). Das Abschrecken kann trocken oder nass erfolgen. Es entstehen Flakes oder Granalien.

Die Herstellung des glasartigen Beschichtungswerkstoffes ähnelt in den Abläufen der Glasherstellung:

- Rezeptur
- Wiegen/Dosieren
- Mischen
- Schmelzen
- Abschrecken
- Verpacken.

Der Fritte-Schmelzprozess erfolgt in Wannenöfen oder rotierenden Trommelöfen, die elektrisch- oder gasbeheizt werden. Die Öfen sind mit einer feuerfesten, keramischen Auskleidung versehen.

Das Anheizen der Trommelöfen benötigt 1 bis 2,5 Stunden. Nach Erreichen der Schmelztemperatur von 1.400 °C dauert der Schmelzprozess noch 60 bis 90 Minuten bei 250 kg Rohstoffgemenge. Rotierende Trommelöfen werden für Chargen bis 1.000 kg eingesetzt. Für das Been-



Ablaufdiagramm: Kontinuierliche Emailfrittenherstellung (Grafik: PEMCO Brugge BVBA)

den und Ablassen der Schmelze gibt es keine allgemein gültige Regel. Allgemein gilt:

- Grundemails werden nicht „glasig ausgeschmolzen“
- Deckemails sollten homogen geschmolzen sein.

Nach dem Schmelzprozess und je nach Erstarrungsprozess haben Emailfritten die Form von Granalien mit einem Durchmesser von 2 bis 5 mm oder die Form von Flakes, die schuppenförmig mit einer Dicke von 0,8 bis 1 mm sind. Der Vorteil des Trommelofens liegt in der ständigen Homogenisierung der Schmelze infolge der Durchmischung.

Wannenöfen arbeiten im kontinuierlichen Betrieb (7 Tage, 24 Stunden) und mit hohem Durchsatz. Typische Ofendurchsätze pro 24 Stunden liegen, je nach Ofengröße und Produkt, bei 3.000 kg bis 25.000 kg. Schmelztemperatur und Verweilzeit im Ofen werden je nach Fritte individuell eingestellt. Die Vorteile der Wannenöfen liegen



Abschrecken der kontinuierlich erschmolzenen Emailschmelze zwischen Kühlwalzen (Bild: Ferro (Holland) B.V.)

in dem kontinuierlichen Schmelzprozess, der eine sehr gute Steuerung des Prozesses ermöglicht und damit zu einer konstanten Qualität aufeinanderfolgender Chargen führt. Die Schmelze wird über Kühlwalzen zu einem festen Band abgekühlt, das dann in schuppenförmige Flakes gebrochen wird.

Zur Herstellung von Schmuckemails und in der Forschung und Entwicklung werden auch Tiegel-Schmelzöfen verwendet.

Die beim Schmelzen von Emailfritten entstehenden fluoridhaltigen Abgase werden durch Gasreinigungsanlagen geleitet, in denen das Fluorid aus dem Abgas entfernt und anschließend wieder dem internen Prozess zugeführt wird. Stäube im Abgas werden durch entsprechende Filter entfernt. Die Abluft der Emailfrittenherstellung kann hierdurch problemlos alle gesetzlichen Auflagen erfüllen.



Schliff durch eine Direktemailierung (Bild: PEMCO Brugge BVBA)

Grundemails

Funktionen

- Vermittlung der Haftung der Emailschiicht auf der Metalloberfläche („Haftoxide“)
- Aufnahme von Gasen aus dem Metall beim Einbrennprozess (Porenstruktur).

Grundemail-Anforderungen

- muss brennbeständig sein (mind. 2 Brände)
- muss das Metall gut benetzen
- Ausdehnungskoeffizient muss niedriger als beim Metall sein
- muss eine größere Oberflächenspannung ausweisen als das Deckemail.

Beispiele für charakteristische Grundemail-Daten

- Einbrandtemperatur 800 – 820 °C
- Viskosität 103 – 104 dPa s
- thermischer Ausdehnungskoeffizient $100 \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1}$
- Oberflächenspannung 290 mN/m
- Schichtdicke 0,08 – 0,12 mm.

Direktemails

Durch entsprechende Rezepturen können Grundemails chemisch beständig hergestellt werden. In diesem Fall werden sie als Direktemails bezeichnet. Direktemails müssen Haftung und äußere Eigenschaften gleichzeitig sicherstellen, haben sowohl funktionale als auch dekorative Anforderungen zu erfüllen.

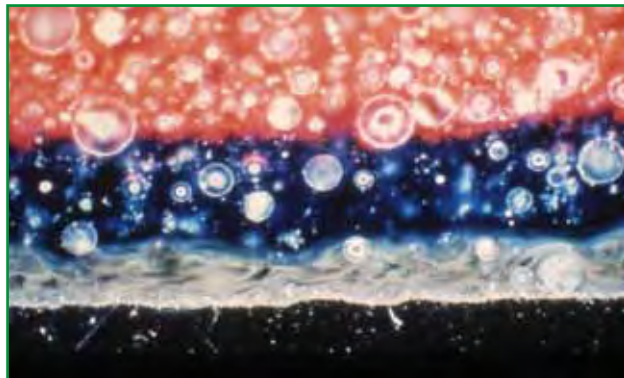
Deckemails

Funktionen

Träger der äußeren Eigenschaften der Emaillierung in chemischer, mechanischer, thermischer, optischer und dekorativer Hinsicht.

Grundsätzlich gilt für Deckemails

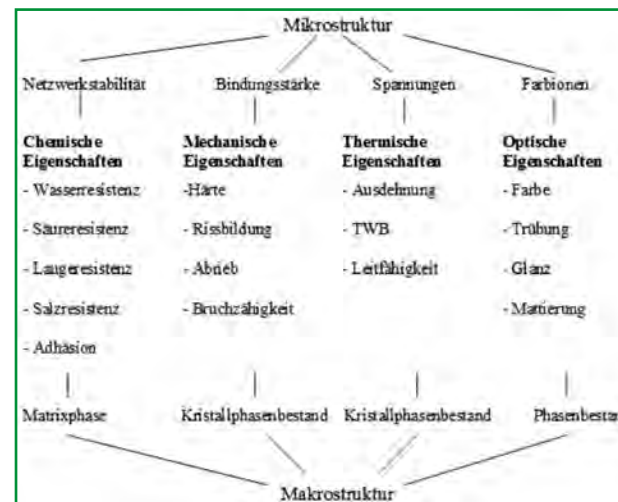
- niedrigerer Ausdehnungskoeffizient als beim Grundemail
- niedrigere Oberflächenspannung als beim Grundemail
- niedrigere Viskosität als beim Grundemail (sonst Vermischung)
- die dilatometrische Erweichungstemperatur muss um ca. 20 K niedriger liegen als beim Grundemail.



Schliff durch eine Zweischichtemaillierung (Bild: DEZ)

Einstellung von Emaileigenschaften

Die komplexen Anforderungen, die aus den Kundenbedürfnissen und der Verfahrenstechnik des Emaillierens resultieren, führten dazu, dass moderne Emails Mehrschicht- und Vielkomponentensysteme sind. Die Anforderungen sind nicht mit wenigen Bestandteilen zu erreichen. Es erfordert Kompromisse zwischen verbessernden und verschlechternden Komponenten. Dies betrifft insbesondere die chemischen Eigenschaften, aber auch die Viskosität, den thermischen Ausdehnungskoeffizienten sowie die Oberflächenspannung. Die Struktur-Eigenschaftsbeziehungen von Emails werden durch eine Grafik verdeutlicht.



Struktur-Eigenschaftsbeziehungen von Emails

Mahlen

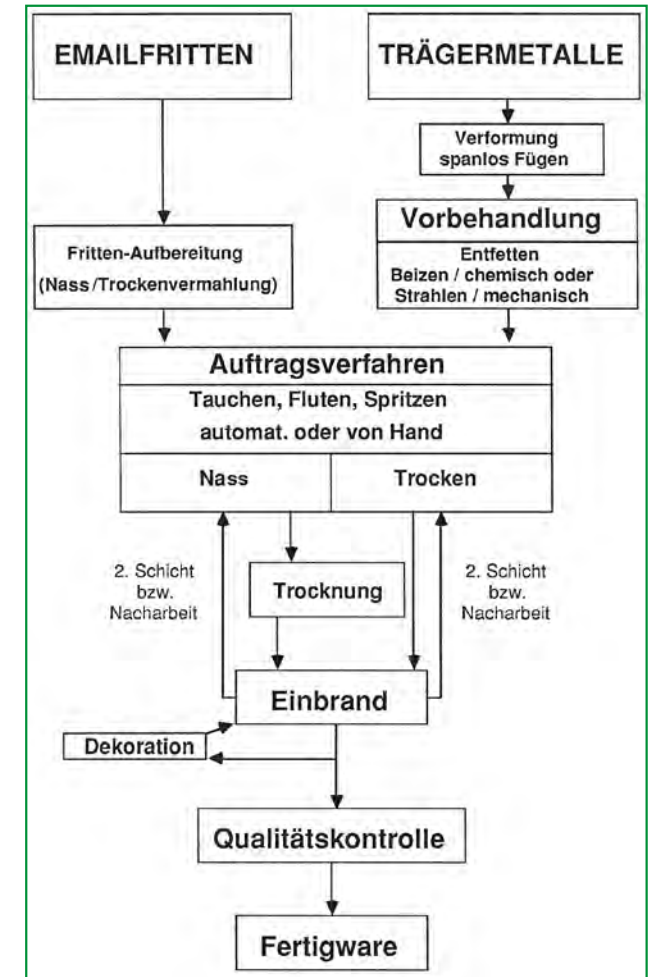
Vor dem Emaillieren müssen die Emailfritten gemahlen werden. Bei der Nassvermahlung werden sie mit Wasser und Mühlenzusätzen wie Ton, Quarz, Stellmittel und Farbkörper gemäß einer vorher festgelegten Rezeptur (Mühlenversatz) in Kugelmøhlen zum Emailschlicker vermahlen. Das Volumen solcher Møhlen reicht von 10 bis 15.000 Litern. In Emaillierwerken werden i. d. R. Møhlen bis zu 1.000 Litern verwendet. Der Stahlmantel der Møhlen ist ausgemauert. Es ist vorteilhaft, Møhlenausmauerungen und Mahlkugeln aus dem gleichen Material zu verwenden. Üblich sind Porzellan, Steatit oder Aluminiumoxid. Letzteres zeigt infolge seiner großen Härte einen weitaus geringeren Abrieb, dadurch sind geringere Verunreinigungen des Emails und konstante Mahlbedingungen über einen längeren Zeitraum gegeben. Zudem wird die Mahldauer verkürzt; das bewirkt eine geringere Auslaugung der Emailfritten.

Üblicherweise werden pro Mahltrommel drei Kugelgrößen verwendet. Kleine Kugeln haben die größere Mahlwirkung, da ihre Anzahl und somit die gesamte Mahloberfläche größer ist als die der großen Mahlkugeln (ca. 25% Mahlkugeln mit 50 mm Durchmesser, ca. 50 % Mahlkugeln mit 40 mm Durchmesser, ca. 25% Mahlkugeln mit 30 mm Durchmesser).

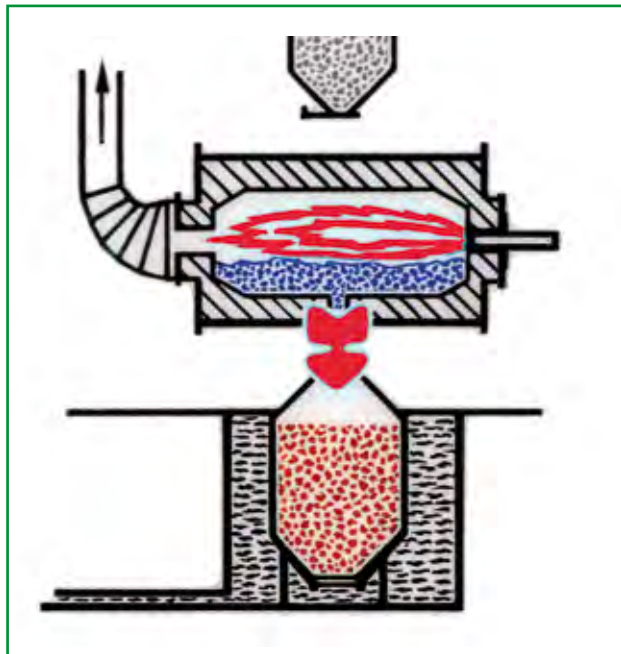
Die Møhlenausmauerung und die Mahlkugeln müssen regelmäßig kontrolliert werden, beschädigte Kugeln entfernt und der durch Abrieb verursachte Verlust durch Zugabe der größten Mahlkugeln gleichen Materials ausgeglichen

werden. Das höchste Mahlvermögen wird erreicht, wenn 50 bis 55% des Mühlenvolumens mit Mahlkugeln ausgefüllt ist. Die Leistung der Mühle ist wesentlich abhängig von der Drehzahl. Dreht sich die Mühle zu schnell, fällt ihre Leistung, weil die Kugeln infolge der Zentrifugalkraft zu hoch mitgenommen werden und dann herabfallen. Dabei können sie sich gegenseitig zersplittern und auch die Mühlenmauerung beschädigen. Ist die Drehzahl zu gering, fällt die Mahlleistung von selbst. Im Gegensatz zur Nassvermahlung erfolgt die Trockenvermahlung

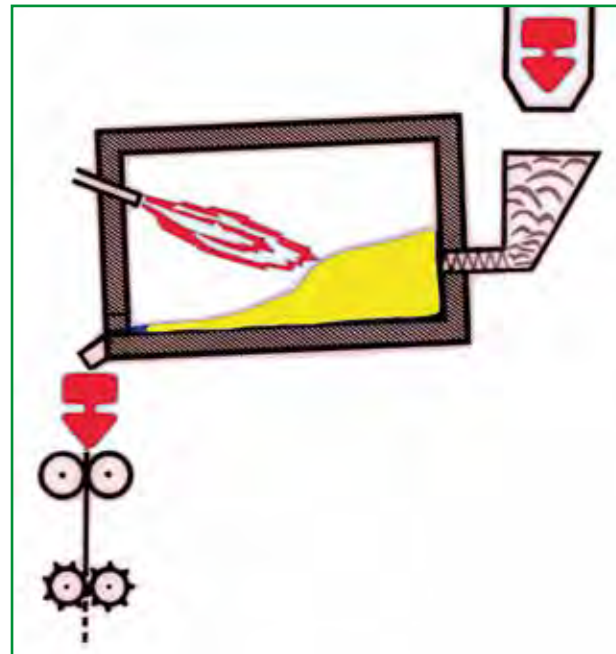
zu Pulvern für den pulverelektrostatischen Auftrag oder zu Pudern für die Gussemaillierung beim Emailfritten herstellenden Unternehmen. Auch Ready-to-use-Emails werden direkt beim Frittenhersteller mit den notwendigen Mühlenzusätzen versehen und trocken vermahlen. Der Verarbeiter muss das angelieferte Pulver nur durch intensives Rühren mit Wasser aufbereiten. Damit können einige Arbeitsvorgänge eingespart und der tägliche Bedarf an Emailscllicker hergestellt werden.



(Grafik: DEV)



Fritte-Schmelzprozess im chargenbetriebenen Trommelofen



Fritte-Schmelzprozess im kontinuierlichen Wannnofen

Schichtaufbau

Emaillierungen unterscheiden sich hinsichtlich des Schichtaufbaus. Konventionelle Emaillierungen werden in zwei oder mehreren Schichten und Direktmaillierungen in nur einer Schicht hergestellt. Daneben gibt es Kombinationsverfahren, z. B. 2-Schichten/1-Brand-Verfahren (2C/1F).

Konventionelle Emaillierung

Die konventionelle Emaillierung weist folgende Prozessfolge auf:

- Metallvorbehandlung
- Grundemailauftrag
- Trocknung
- Grundemaileinbrand
- Deckemailauftrag
- Trocknung
- Deckemaileinbrand.

Direktmaillierverfahren

sind gekennzeichnet durch einen einschichtigen Emailauftrag. Dabei unterscheidet man zwischen einer chemisch beständigen Direktmaillierung und der so genannten Direktweißmaillierung. Die chemisch beständige Direktmaillierung entspricht der konventionellen Emaillierung, bei der nur ein Emailauftrag durchgeführt wird. Bei der Direktweißmaillierung ist es notwendig, das Stahlblech zuvor zu vernickeln. Die Nickelschicht (Ni) ist für die Emailhaftung verantwortlich.

Die entsprechende Prozessfolge ist demnach:

- Metallvorbehandlung
- Vernickelung
- Trocknung
- Emailauftrag
- Trocknung
- Emailleinbrand.

Kombinationsverfahren

zeichnen sich dadurch aus, dass der Deckemailauftrag (DE) auf das noch nicht gebrannte Grundemail (GE) erfolgt. Dieses 2-Schichten/1-Brand-Verfahren (2C/1F) ist vorteilhaft, da es einen Einbrennvorgang spart und geringere Schichtdicken möglich sind. Die Kombinationsverfahren können in den Prozessfolgen nass/nass, nass/Pulver und Pulver/Pulver ausgeführt werden. Der erste Nassauftrag steht dabei für einen Grundemailauftrag mittels Spritzverfahren (zumeist elektrostatisch). Auch der Pulveremailauftrag erfolgt elektrostatisch.

Schematischer Aufbau

	GE	DE	Ni
Konventionelle Emaillierung	+	+	-
Direktweißmaillierung	-	+	+
Direktmaillierung, farbig	-	+	-
2C/1F-Emaillierung	+	+	-



Qualitätsprüfung der Innenmaillierung eines Großbehälters (Bilder oben und unten: Pfaudler Werke GmbH)

Haftung

Bei der Haftung von Emails auf einem Trägerwerkstoff werden folgende Mechanismen unterschieden:

- mechanische Verzahnung/Verankerung
- Bindung über haftvermittelnde Oxidschichten
- chemische Bindung über eine oxidgesättigte Glasgrenzschicht
- mechanische Verklammerung durch Bildung von Zwischenschichten
- elektrostatische Anziehung durch Kontaktpotenziale.

Nach dem bereits um 1870 die Wirkung der Haftoxide empirisch nachgewiesen wurde, ist in der ersten Hälfte des letzten Jahrhunderts diesbezüglich intensiv geforscht worden. In der Literatur werden vielfältige Hafttheorien dargestellt. Die vorherrschende Dietzel'sche Hafttheorie wurde 1987 von Faber präzisiert (siehe Literaturhinweise im Anhang). Bei Zugabe von Haftoxiden zur Schmelze gegenüber der Zugabe zum Mühlenversatz ist eine deutliche Haftungssteigerung festzustellen. Die Wirkung der Haftoxide hängt wesentlich vom Unterschied im elektrochemischen Potential gegenüber dem des Metallsubstrates ab. Je edler das Metall des Haftoxides, desto besser ist die Haftung. Die Emailhaftung wird durch eine gezielte und differenzierte Ausbildung einer Primäroxidschicht mittels zusätzlicher Emailkomponenten wesentlich gefördert.

Druck- und Zugspannungen

Wie in jedem Verbundwerkstoff, der durch thermische Prozesse hergestellt worden ist, treten auch in Emailierungen Spannungen auf. Im System Metall/Email treten sowohl temporäre als auch permanente Spannungen auf. Temporäre Spannungen ergeben sich z. B. bei der Temperaturwechselbeanspruchung. Entscheidend sind die nach dem Einbrennen und Abkühlen bestehenden permanenten Spannungen.

Üblicherweise haben Emails einen kleineren thermischen Ausdehnungskoeffizienten als die jeweiligen Metallsubstrate, so dass sie nach dem Emaillieren unter Druckspannungen stehen. Je nach Trägerwerkstoff müssen die Ausdehnungskoeffizienten der entsprechenden Emails angepasst werden.

Die Optimierung dieser Druckspannungen ist erforderlich, um eine möglichst hohe Temperaturwechselfestigkeit und Schlagfestigkeit zu erzielen.



Trockner für Emailliertone (Bild: Stephan Schmidt Gruppe)

Emaillieren

Im Gegensatz zu ungeschützten Metalloberflächen, die korrodieren, sind emaillierte Metalloberflächen dauerhaft korrosionsgeschützt. Beim Emaillieren entsteht ein neuer Verbundwerkstoff. Im Grenzbereich zwischen Email und Metall verbinden sich durch chemische Reaktionen beide Werkstoffe. Dies führt zu einer untrennbaren Verbindung, deren Haftfestigkeit im Normalfall über der Eigenfestigkeit der glasähnlichen Schicht liegt, so dass bei Überbeanspruchung Kohäsionsversagen und kein Adhäsionsversagen wie bei anderen Beschichtungswerkstoffen eintritt. Die Haftschrift Email/Metall verhindert durch das Aufschmelzen der Emailfritte beim Emailliervorgang jegliche Unterwanderung.

Emailschlicker

Emailschlicker sind wässrige Suspensionen mit thixotroper Eigenschaft (siehe auch Begriffe, Definitionen). Die vom Schmelzwerk gelieferten Emailfritten werden je nach Auftragsverfahren im Emaillierwerk nach einem festgelegten Mühlenversatz mit Wasser vermahlen.

Nassvermahlung

Mit Mühlenzusätzen wie Ton, Quarz, Stellmitteln, Farbkörpern und Substanzen, die den späteren Trockenfilm beeinflussen, werden die Emailfritten (Flakes oder Granalien) gemäß einer vorher festgelegten Rezeptur (Mühlenversatz) in Kugelmühlen zum Emailschlicker vermahlen. An das Fließverhalten des Emailschlickers werden diverse



Bild: Düker GmbH & Co. KGaA

Anforderungen gestellt. Er soll relativ dickflüssig sein, darf sich nicht absetzen und muss sich bei der Applikation leicht handhaben lassen. Nach dem Auftrag muss das Email gleichmäßig auf der Metalloberfläche verteilt sein und beim Transport im ungetrockneten Zustand darf sich der nasse Film nicht mehr verändern.

Wasser spielt für die Verarbeitung von Email eine große Rolle. Ungünstige Wassereigenschaften können Emailfehler hervorrufen. Wasser wirkt nicht als Mahlgut und ist auch kein Emailbestandteil, sondern dient als Träger und Transporteur der Emailteilchen. Obwohl es beim Trocknen verdunstet, muss berücksichtigt werden, dass die im Brauchwasser gelösten Salze (z. B. Calcium- und Magnesiumsalze, Chloride, Spuren von Kieselsäure), die die Wasserhärte bestimmen, nach dem Trocknen in der Emailschiicht verbleiben. Durch diese Salze kann die Schlickerkonsistenz beeinflusst werden. Für das Emaillieren ist die Wasserhärte somit von großer Bedeutung und sollte bekannt sein. Wenn die Wasserqualität unzureichend ist, müssen Wasseraufbereitungsanlagen eingesetzt werden. Wasser in der Härte von 0 bis 8 ist für Emailierzwecke gut, von 8 bis 12 annehmbar.

Mühlenzusätze

Beim Nassmahlen des Emails wird Ton zugesetzt, um das Absetzen der Emailteilchen im Schlicker zu verhindern. Ton ist ein Schwebemittel und beeinflusst das „Stehvermögen“ des Schlickers. Die Tonteilchen bilden eine Art „Kartenhaus“, so dass in den Segmenten des „Kartenhauses“ die relativ großen Emailpartikel fixiert werden und sich nicht absetzen. Durch den Ton werden die Emailteilchen in

„Schwebe“ gehalten. Darüber hinaus dient Ton nach dem Trocknen als Klebemittel der aufgetragenen Schicht. Er verkittet die Emailteilchen untereinander und klebt sie auf der Metallunterlage fest. Im getrockneten Zustand entsteht ein relativ fester Biskuit, so dass die Emailschiicht griffest wird und ein Handling der Teile möglich ist. Meist wird eine Kombination von Weiß- und Blauton eingesetzt. Weißton hat eine schwächere Wirkung auf das Stehvermögen des

Schlickers als Blauton. Außerdem haben die Tone eine unterschiedliche Wirkung auf die Blasenstruktur. Ein besonderes Schwebemittel ist Bentonit, der im Wasser stark aufquillt, eine etwa fünfmal so große Suspensionswirkung als Ton hat und in Verbindung mit Emails verwendet wird, die leicht sedimentieren. Bentonit wird aber nie allein, sondern stets in Verbindung mit Ton und bis zu 0,2 bis 0,6 % zugesetzt.



Mischwerk Sandborn: Homogenisierung eines Emailliertones (Bild: Stephan Schmidt Gruppe)

Quarz

als Mühlenzusatz wird hauptsächlich bei der Grundemailierung verwendet. Beim Brennen des Grundemails löst sich Quarz im Email teilweise auf und verändert dessen chemische Zusammensetzung. Das Grundemail wird schwer schmelzender und widersteht so den nachfolgenden Brennzyklen durch das Deckemaillieren. Darüber hinaus hält Quarz das Grundemail während des Brennvorganges länger offen, d. h., die Gasdurchlässigkeit der Grundemailschicht wird verbessert, wodurch die sich beim Einbrennprozess bildenden Gase leichter entweichen können.

Stellmittel

werden zum Einstellen der Rheologie (z. B. Dick- oder Düninflüssigkeit) des Schlickers verwendet. Emailslicker dürfen weder zu dickflüssig noch zu wässrig sein, weil sie dadurch entweder kaum auftragbar wären oder zu stark ablaufen würden. Der getrocknete Biskuit darf weder zu dick noch zu dünn sein. Ziel ist, eine bestimmte, produktabhängige Schichtdicke auf dem zu emaillierenden Gegenstand aufzubringen und der Rest ohne lange nachzutropfen abläuft. Der in der Branche verwendete Fachausdruck lautet: Der Schlicker wird gestellt (oder nachgestellt) bzw. entstellt. Als Stellmittel werden Borax, Borsäure, Pottasche, Natriumaluminat, Natriumnitrit und Magnesiumcarbonat eingesetzt. Zum Entstellen verwendet man Zitronensäure und Natriumpyrophosphat. Die Prozentanteile im Mühlenversatz sind sehr gering und liegen i. d. R. bei 0,05 bis maximal 0,3 % (je nach Wasserqualität).

Farbkörper und Trübungsmittel

In der Emailindustrie kommen überwiegend Farboxide zur Anwendung, die durch den Frittenhersteller geliefert werden. Das Ausarbeiten von Farbeinstellungen bedarf einer langen Erfahrung und geschieht meist in Abstimmung mit Emailhersteller und -verarbeiter. Gewünschte Farbtöne werden durch eine Kombination von Farbkörpern erreicht. Die Kombination ist von den verwendeten Fritten, der Mahlfineinheit des Schlickers und der Brenntemperatur abhängig. Handelsübliche Trübungsmittel bestehen aus Calcium-, Titan- und Zinkoxid und dienen dazu, die Opazität (Undurchsichtigkeit) zu erhöhen.

AB ₂ O ₄ Spinell	A ₂ O ₃ Korund	AO ₂ Rutil	Andere Oxide	ZrSiO ₄ Zirkon	Andere Silikate
(Co,Mg,Zn)(Al,Cr) ₂ O ₄	(Cr,Al) ₂ O ₃				Granat Ca ₃ Cr ₂ (SiO ₄) ₃
(Co,Zn)(Al,Cr) ₂ O ₄			Baddeleyit ZrO ₂ :V	ZrSiO ₄ :V	Willemit (Co,Zn) ₂ SiO ₄ ; Olivin Co ₂ SiO ₄
		(Sn,Ti)O ₂ :V TiO ₂ :Sb,Cr,Ni	Pyrochlor Pb ₂ Sb ₂ O ₇ mit Zn,Al,Ti,Fe,Sn,Ce	ZrSiO ₄ :Pr	
(Co,Ni,Mn,Fe)(Mn,Fe,Cr) ₂ O ₄ CuCr ₂ O ₄	(Fe,Cr) ₂ O ₃		Bixbyit (Mn,Fe) ₂ O ₃		
(Zn,Co,Ni,Mn,Fe) (Al,Mn,Fe,Cr) ₂ O ₄		SnO ₂ :Sb,Zr,V	Periklas (Co,Ni)O	Einschluß von Kohlenstoff	Olivin (Co,Ni) ₂ SiO ₄
(Zn,Mg,Ni) (Al,Cr,Mn,Fe) ₂ O ₄	(Al,Cr,Fe) ₂ O ₃	TiO ₂ :Cr,W		Einschluß von Hämatit	Rhodonit MnSiO ₃
Zn(Al,Cr) ₂ O ₄	(Al,Mn) ₂ O ₃	SnO ₂ :Cr		Einschluß von Cd(S,Se)	Sphen CaSnSiO ₄ :Cr

Keramische Farbkörper – Struktur, Chemie und Farbe (Grafik: Ferro GmbH)

Auftragsverfahren

Zum Emailieren werden folgende Auftragsverfahren industriell eingesetzt:

- Nassauftrag
 - manuelles Spritzen
 - Roboterspritzen
 - Tauchen
 - Fluten
 - Vakuumauftrag
- Auftrag im elektrischen Feld
 - elektrostatisches Nassspritzen (ESTA)
 - elektrostatischer Pulverauftrag (PUESTA)
 - Elektrotauchemaillierung (ETE).

Der Emailauftrag erfolgt in einer oder mehreren Schichten nass mit einer Emailsuspension oder trocken mit Emailpulver oder -puder. Beim Nassauftrag wird eine feine Suspension, der Emailslicker (aus gemahlene Emailfritten, Zuschlagsstoffen und Wasser), verwendet. Der Nass-Emailauftrag kann durch Spritzen, Tauchen oder Fluten manuell oder maschinell erfolgen. Für die Serienfertigung sind automatisierbare Auftragsverfahren mit maschinellen Einrichtungen entwickelt worden, die ein besonders wirtschaftliches Emailieren ermöglichen.



Manuelles Spritzen (Bild oben links: Dovre NV, Bild oben rechts: EMK Email-, Metall- und Kunststoffverarbeitung GmbH)



Automatisiertes Innen-Fluten eines Boilers (Bild links unten: E.I.C. Group Engineering Innovations Consulting GmbH)

Manuelles Innen-Fluten (Bild unten rechts: EMK Email-, Metall- und Kunststoffverarbeitung GmbH)

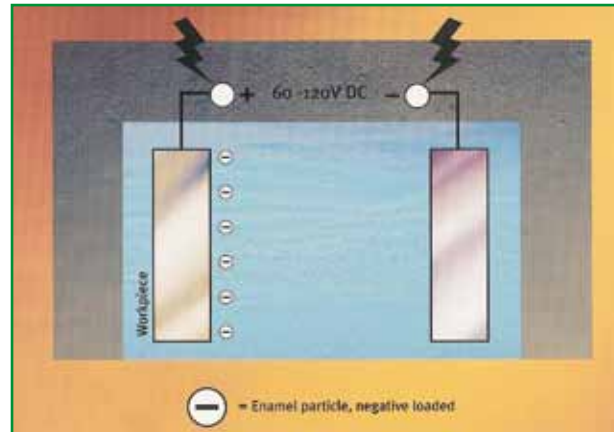


ESTA Elektrostatischer-Nass-Emailauftrag

Von den modernen Emailauftragsverfahren wurde zuerst das ESTA-Verfahren entwickelt. Dabei erfolgt der Transport der Schlickertröpfchen im elektrischen Feld. Die Haftung auf dem Substrat kommt durch Kapillarkräfte zustande. Die Aufladung erfolgt durch den Corona-Effekt, die angelegte Spannung liegt zwischen 60 und 120 kV, der Druck zwischen 0,17 und 0,25 MPa. Im Unterschied zu PUESTA und ETE sind mehrschichtige Aufträge mit Zwischenbränden möglich. Das ESTA-Verfahren ist hoch automatisierbar, wirtschaftlich und umweltfreundlich, da das am Werkstück vorbei gesprühte Email zurückgewonnen werden kann. Bei meist geringerem Anlagenaufwand als für ETE und PUESTA wird der ESTA-Auftrag bei der Flach- und Spezialteilemailierung (farbig, konventionell, 2C/2F und Direktweißemailierung) eingesetzt.



Roboterspritzen
(Bild: E.I.C. Group Engineering Innovations Consulting GmbH)



Prinzip-Darstellung des ETE-Verfahrens



ETE-Rundtaktautomat
(Bild: EISENMANN Anlagenbau GmbH & Co. KG)

ETE Elektrotauchemaillierung

Beim ETE-Verfahren handelt es sich um einen elektrophoretischen Emailauftrag (teilweise auch als EPE-Auftrag bezeichnet). Der Transport geladener Emailteilchen in einer Suspension erfolgt durch ein angelegtes elektrisches Feld. Im Gegensatz zur Elektrolyse werden nicht Ionen, sondern wesentlich größere Feststoffteilchen bewegt. Die Emailteilchen in der Suspension sind gegenüber den sie umgebenden Wassermolekülen negativ geladen. Die zu beschichtenden Werkstücke sind positiv geladen. Neben elektrophoretischen und elektrolytischen Vorgängen laufen während der ETE-Beschichtung auch elektroosmotische Prozesse ab, die zwei sehr positive Wirkungen haben: Eine Entwässerung und damit mechanische Verfestigung der aufgetragenen Schicht sowie gleichzeitig eine Konstanthaltung der Dichte der Emailsuspension



Retrofit – ETE für Backkästen
(Bild: KÜBLER ESSIG Maschinenbau GmbH)

(Schlickerdichte) durch Anreicherung von Wasser im Kathodenbereich. Der ETE-Auftrag ist einschichtig oder in 2-Schichten/1-Brand möglich. Die ETE-Beschichtung eines bereits emaillierten Teils ist wegen der elektrisch isolierenden Wirkung einer Emaillierung und somit einer

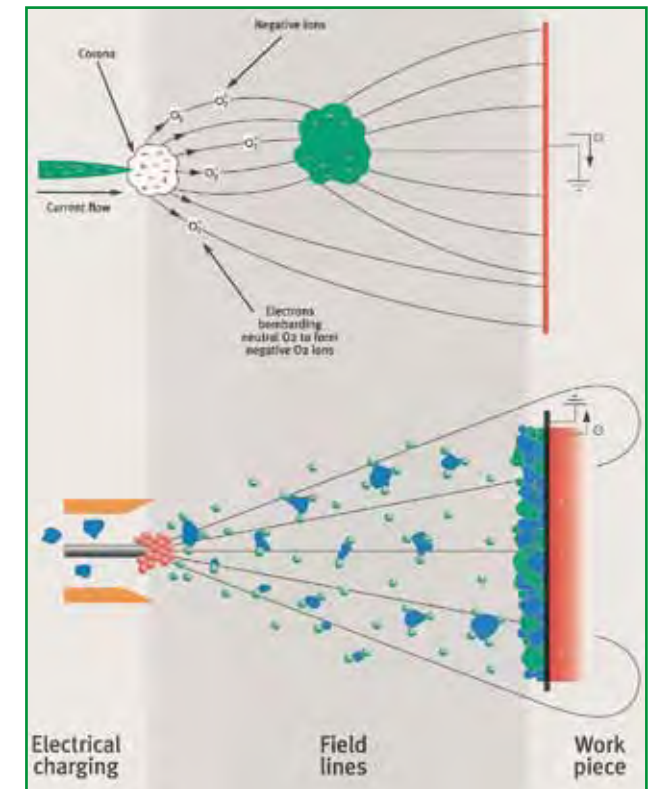
fehlenden Leitfähigkeit unmöglich. Die großen Vorteile einer ETE-Beschichtung liegen in der glatten, gleichmäßigen Oberfläche der erzeugten Emaillierung bei einer sehr guten Kantenbedeckung. Das ETE-Verfahren wird für die Flach- und Spezialteilemaillierung (farbig und Direktweiß) angewendet.

PUESTA Pulverelektrostatischer Emailauftrag

Der pulverelektrostatische Emailauftrag mit speziell präparierten Emailpulvern bietet für die Großserienfertigung deutliche Vorteile. Zwischen den Zerstäuberpistolen und dem geerdeten Werkstück wird eine Spannung von 60 bis 90 kV angelegt. Die Emailteilchen bewegen sich vorzugsweise entlang der elektrischen Feldlinien zum Werkstück.



Pulverbeschichtungskabine mit Roboter und Pulverapplikation (Bild: KÜBLER ESSIG Maschinenbau GmbH)



Prinzip-Darstellung des PUESTA-Verfahrens

Eine für den Produktionsprozess ausreichende Pulverhaftung auf dem Werkstück erfolgt durch elektrostatische Wechselwirkungen. Der große PUESTA-Vorteil liegt in der Möglichkeit, geringe und gleichmäßige Schichtstärken auf dem zu emaillierenden Werkstück zu erzeugen. Dadurch erhalten die Teile eine besonders hohe Widerstandsfähigkeit gegen mechanische Beanspruchung (Stichwort biegsame Glasfaser). Weitere Vorteile: Entfall der Trocknung und hohe Umweltfreundlichkeit durch Kreislaufführung des Emailpulvers. Als PUESTA-Nachteile sind die begrenzte Einfärbbarkeit des Emails, die leicht zu beschädigende Biskuitschicht und die erforderliche Klimatisierung der Beschichtungskabine zu nennen. PUESTA wird in der Großserienfertigung, z. B. bei der Flachteil- und Backkastenemaillierung eingesetzt, oft im 2C/1F-Prozess.

ETE, ESTA und PUESTA nutzen zwischen Werkstück und Gegenpol ausgebildete elektrische Felder, um die Bewegung der Emailteilchen gezielt zu steuern. Die drei Verfahren unterscheiden sich im Wesentlichen in der Ladung der Emailteilchen, dem Trägermedium für die Emailteilchen, den Transportvorgängen durch das elektrische Feld, den eigentlichen Abscheidungsvorgängen und den dabei auftretenden Wechselwirkungen. Allen gemeinsam ist die Bewegung der Emailteilchen entlang elektrischer Feldlinien.

Trockenpuderauftrag

Der Puderauftrag wird bei der Emaillierung von Gusseisen eingesetzt. Dabei wird zwischen Kalt- und Heißpuderverfahren unterschieden. Die Vermahlung der Fritte erfolgt

zuvor trocken, ohne Zusätze, zu Puderemail. Während das Kaltpuderverfahren nur noch in Ausnahmefällen, z. B. für Schilder verwendet wird, ist das Heißpuderverfahren bei der Fertigung von gusseisernen Badewannen, Chemieapparaten und Gussarmaturen mit einer Dicke von mehr als 5 mm Stand der Technik. Dabei erfolgen zwei bis drei Aufträge mit Druckluft- oder Handsieben, evtl. im Wirbelbett. Der Ausnutzungsgrad des Puderemails beträgt rund 70%; zwei Drittel des Abfalls ist aber wiederverwertbar. Vorzugsweise wird das Heißpuderverfahren für kleinere Werkstücke (Sanitärartikel, Zubehör für Chemieapparate) genutzt. Vor dem Pudern wird das Werkstück rot glühend auf Temperatur gebracht. Es entsteht eine sehr glatte, hochglänzende Emailoberfläche. Das Heißpuderverfahren wird im Wesentlichen für technische Emaillierungen gusseiserner Teile eingesetzt.



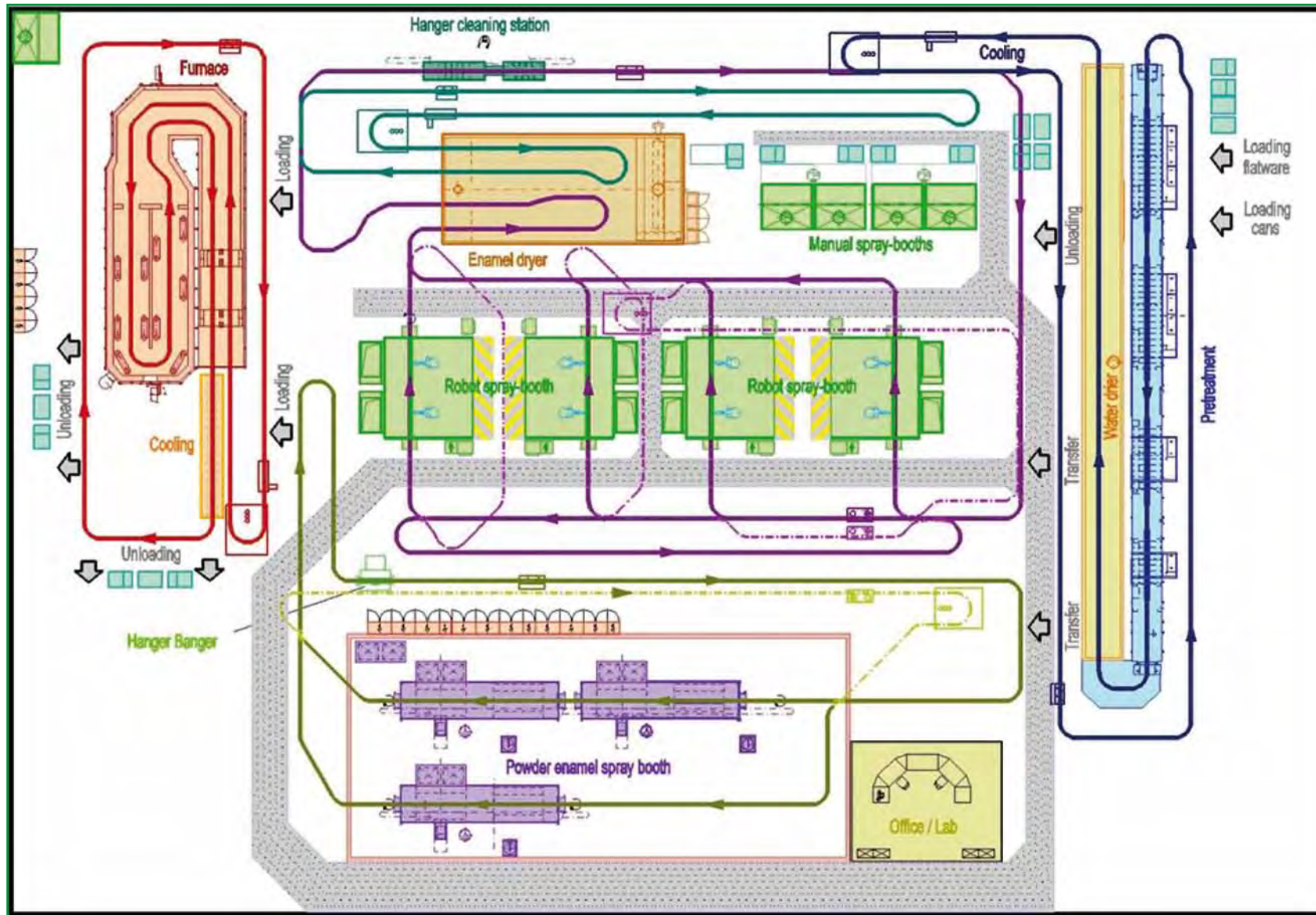
Pulverkabine (Bild: EISENMANN Anlagenbau GmbH & Co. KG)



PUESTA-Auftrag (Bild: Nordson Deutschland GmbH - Industrial Coating Systems)



Pulverpistolen (Bild: Nordson Deutschland GmbH - Industrial Coating Systems)



Layout eines neu geplanten Emailierwerkes zur Stahlblechemailierung mit den drei Auftragsverfahren (PUESTA, Roboter- und manueller Spritzauftrag)

Einbrenn- prozess

Damit die glasartige Emailschiicht sich mit dem Trägerwerkstoff verbindet, muss ein Einbrennprozess bei mindestens 480 °C (Aluminium) und rund 820 °C (Stahlblech) erfolgen. Temperaturbereich und Dauer des Brennprozesses werden von verschiedenen Parametern bestimmt. Neben dem Trägermetall spielen das Gewicht und die Materialstärke des Werkstückes sowie die ausgewählten Emailfritten eine Rolle. Moderne Emailieröfen ermöglichen einen breiten Einsatzbereich für die unterschiedlichsten Anforderungen an den jeweiligen Einbrennprozess. Dies betrifft den Verlauf der Objekttemperatur während des Einbrandes in chargenbetriebenen Kammeröfen oder kontinuierlich arbeitenden Durchlauföfen.

Ofentypisierung

Kaum Energie speichernde Isoliermaterialien ermöglichen für alle Beheizungs- bzw. Energiearten einsetzbare Einbrennöfen. Die mit diesen Isoliermaterialien ausgekleideten Öfen werden programmierbar vor Schichtbeginn ein und bei Schichtende abgeschaltet. Folgende Ofentypen kommen zum Einsatz:

- Kammerofen (direkt beheizt)
- Muffelofen (indirekt beheizt)
- Tunnel- oder Durchlauföfen
- Umkehröfen.



Kammerofen für Großbehälter (Bild unten rechts: E.I.C. Group Engineering Innovations Consulting GmbH)

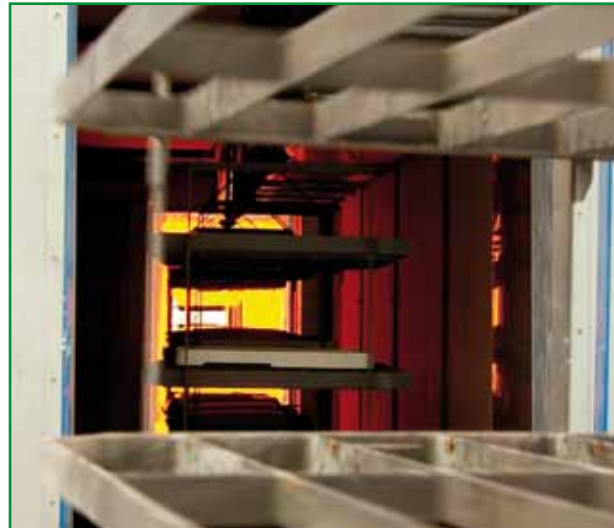
Der Umkehrmaillierofen mit Overhead- und Unterflurförderer ist eine sehr universelle und wirtschaftliche Emailierofenbauart. Bei diesem Ofensystem erfolgt durch die gegenläufige Führung des Förderers und somit der Ware eine Energieaufnahme der einlaufenden, kalten Ware von der auslaufenden, gebrannten, heißen Ware. Auf diese Weise kann viel Energie gespart werden, da durch den Wärmeaustausch die in die Brennzone des Umkehrförens einlaufende Ware bereits ohne zusätzlichen Energieaufwand Temperaturen von 500 bis 700 °C angenommen hat. Mehrere Luftschleusen unterbinden weitgehend den Eintritt von Kaltluft in die Brennzone. Be- und Entlüftungssysteme, die Thermik nutzend oder zwangsweise gesteuert, sorgen für eine saubere Ofenatmosphäre.

Umkehröfen mit Overheadförderern verwenden Gehänge zum Aufhängen der Ware. Die sehr variable Gehängegestaltung ermöglicht vielseitige Beschickungsalternativen und somit einen universellen Betrieb. Für eine Vollautomatisierung des Beschickungs- und Entnahmeproganges bietet der Unterflurförderer Vorteile. Durch die in der Regel geringere Bauhöhe und den nicht erforderlichen Deckenschlitz ergeben sich eine geringere Thermik, keine Austrittsverluste durch den Deckenschlitz und somit wesentlich geringere Energieverluste. Als Energieart zur Beheizung von Emailieröfen können Öl, Gas und Strom eingesetzt werden. Überwiegend kommen die beiden letztgenannten Energiearten zum Einsatz.

Reaktionsabläufe beim Einbrennen

- ab 250 - 300 °C Oxidation der Metalloberfläche
- ab 400 - 500 °C Entwässerung der Tone
- um 650 °C Erweichung der Frittekörner
- ab 750 °C Haftung des Grundemails auf dem Metall bzw. Haftung des Deckemails auf dem Grundemail
- 820 - 850 °C Glattbrand des Deckemails.

Der Emailierprozess ist mit dem Einbrand abgeschlossen. Sind zusätzliche Dekorationen gewünscht, können diese durch Siebdruckverfahren, Abziehbilder oder Schabloniertechnik aufgebracht werden. Die dazu verwendeten Produkte bestehen ebenfalls aus Emails, die nach dem Dekorbrand das gewünschte Eigenschaftsprofil der Oberfläche ergeben.



Blick in den Emailierofen mit liegend gebrannten Guss-Flachteilen (Bild: Dovre NV)



Ofenausfahrt von Multimediaschiebern (Bild: ERHARD GmbH & Co. KG)



Aus- bzw. Einfahrt in einen Umkehröfen (Bild: EMK GmbH)

Emaillierungen

Eigenschaften mechanisch, chemisch, optisch

Der **Verbundwerkstoff** Email-Metall weist eine Vielzahl außergewöhnlicher mechanischer, chemischer und optischer Eigenschaften auf. Für die Emaillierung von Werkstücken für die unterschiedlichsten Einsatzgebiete stehen hochwertige Spezialemails zur Verfügung, die anwendungsabhängig durch die Emailfrittenhersteller ausgerichtet werden können.

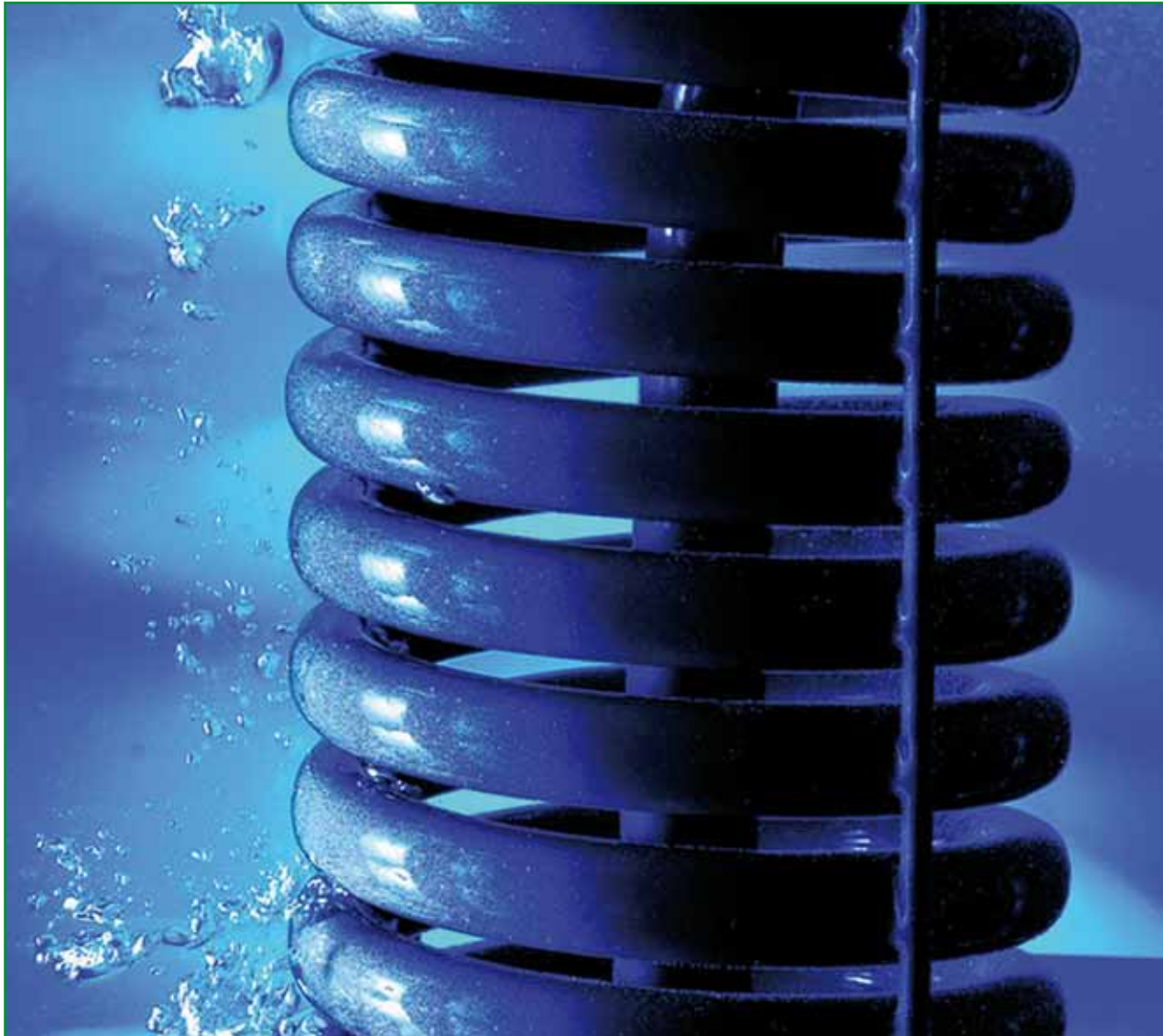
Von A – Z

ANPASSUNGSFÄHIG: Unter Beachtung der konstruktiven Voraussetzungen können Emaillierungen fast jeder Aufgabenstellung angepasst werden (tailoring).

BEDRUCKBAR: Emaillierungen können z. B. im Siebdruckverfahren bedruckt werden. Nach einem weiteren Einbrennprozess bleiben die so erstellten Abbildungen dauerhaft erhalten. Die Farbbrillanz ist beeindruckend.

BESTÄNDIG: Emaillierungen können so eingestellt werden, dass sie chemisch beständig sind gegen Säuren, Laugen oder heißes Wasser/Wasserdampf.

FARBENFROH, FARBBESTÄNDIG: Emaillierungen können in vielen glänzenden oder matten Farben und Farbabstufungen



Emaillierte Heizschlange in einem Wassererwärmer (Bild: Bosch Thermotechnik GmbH)

hergestellt werden. Da die Farben unvergänglich mit eingeschmolzen werden, sind sie ebenso lichtbeständig wie die emaillierte Oberfläche selbst.

FORMSTABIL: Die Materialkombination des Verbundwerkstoffes Email-Metall verleiht Emaillierungen eine hohe Formstabilität. Für industriell gefertigte Emaillierungen werden genau definierte Stahlbleche verwendet.

GESTALTBAR: Der Gestaltungsspielraum von Architekten, Konstrukteuren und Designern wird bei Emaillierungen kaum eingeschränkt. (Eine enge Zusammenarbeit zwischen Gestalter und Emaillierwerk ist zur Gewährleistung einer werkstoffgerechten Konstruktion zu empfehlen.)

GRAFFITIPROHIBITIV: Die Oberflächen von Emaillierungen sind lackabweisend. Farben, Kleber und andere chemische Stoffe lassen sich mühelos entfernen.

HAUTSYMPATHISCH: Emaillierungen sehen nicht nur gut aus, sie fühlen sich auch gut an. Die geschlossene Oberfläche von emaillierten Produkten wird im direkten Hautkontakt als sehr angenehm empfunden.

HYGIENISCH: Die glasglatte Emailoberfläche ist besonders hygienisch. Der sogenannte „unsichtbare Schmutz“ hat bei Emaillierungen keine Chance sich festzusetzen.

ISOLIEREND: Der Verbundwerkstoff Email-Metall verliert niemals seine elektrisch isolierenden Eigenschaften.

KORROSIONSBESTÄNDIG: Emaillierungen sind dauerhaft korrosionsgeschützt. Im Verzahnungsbereich der Werkstoffe verhindert die Verschmelzungsschicht Email-Metall jegliche Rostunterwanderung. Kontaktkorrosionen durch Ionenwanderung oder Elementbildungen an Verbindungsstellen mit nicht emaillierten Metallen gibt es nicht.

KRATZFEST: Durch die besondere Oberflächenvergütung besitzen Emaillierungen die glastypische Abriebfestigkeit. Die glasharten Emailoberflächen sind sehr strapazierfähig.



Sowohl der Garraum als auch das Backblech dieses Backofens sind emailliert. Die emaillierte Oberfläche ist hygienisch einwandfrei und leicht zu reinigen. (Bild: Miele & Cie. KG)

LANGLEBIG, ABPLATZSICHER: Emaillierungen sind besonders langlebig. Die Oberfläche kann nur mit grober Gewalt einwirkung zerstört werden. Dass Email abplatzt, ist eine Beurteilung, die heute nur noch als Vorurteil bezeichnet werden kann. Emaillierungen sind besonders widerstandsfähig, ungewöhnlich kratz- und stoßfest. Sie sind stark beanspruchbar und überzeugen durch eine sehr lange Lebensdauer.

LICHTECHT: Emaillierungen können dauerhaft einer intensiven Sonnenbestrahlung ausgesetzt werden. Selbst UV-Strahlungen können die emaillierte Oberfläche farblich nicht verändern.

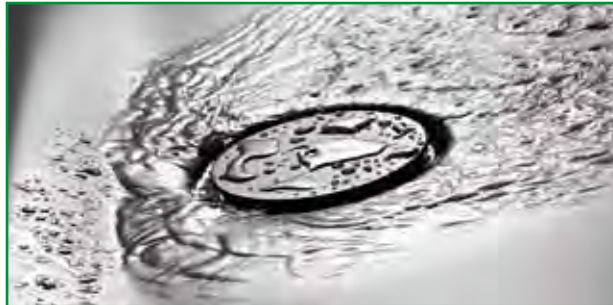
MATERIALVERTRÄGLICH: Emaillierungen vertragen sich gut mit anderen Werkstoffen. Auch im direkten Kontakt, z. B. mit Kunststoff-Fugenbändern, gibt es kein Verfärben.

NACHHALTIG: Emaillierungen bestehen aus anorganischen Rohstoffen. Als Lösungs- und Reinigungsmittel wird nur Wasser verwendet. Die Lebensdauer übertrifft die von anderen Werkstoffen oft um 100 %. Effektives Recycling ist ohne großen Aufwand möglich.

NACHLEUCHTEND: Deutlich über den geforderten Norm-Werten liegen die Nachleuchteigenschaften von entsprechenden Spezial-Emaillierungen.

NICHT BRENNBAR: Emaillierungen sind nicht entflammbar und geben auch bei unmittelbarem Feuerkontakt keine giftigen Dämpfe ab – hohe Havariesicherheit.

PFLERGELEICHT: Auf der glasglatten Oberfläche von Emaillierungen können Verschmutzungen nicht haften. Sie lassen sich einfach – ohne Polieren – wegwischen. Dabei werden keine besonderen Pflegemittel benötigt. Haushaltsübliche Chemikalien (z. B. Nagellack und dessen Entferner, Putz- und Scheuermittel) können der Oberfläche nichts anhaben.



Emaillierte Sanitäroberflächen besitzen eine lange Lebensdauer. (Bild: Bette GmbH & Co. KG)

PHYSIOLOGISCH UNBEDENKLICH: Emaillierungen sind physiologisch unbedenklich, enthalten keine Lösungsmittel und geben keine bedenklichen Stoffe ab.

RECYCLINGFÄHIG: Die Recyclingfähigkeit von Emaillierungen ist stets gegeben.

SÄUREFEST: Anwendungsabhängig können Emaillierungen resistent gegen heiße Säuren oder Laugen hergestellt werden. Weder sachgemäß verwendete Reinigungsmittel noch „saurer Regen“ können Emailoberflächen etwas anhaben.

SCHLAGFEST, STRAPAZIERFÄHIG: Emaillierungen haben meist einen dünnen Schichtaufbau, denn dünne Schichten vertragen mehr: Ein Glasstab bricht – eine Glasfaser nicht. Nur mit roher Gewalt lassen sich Emaillierungen zerstören.

SCHMUTZABWEISEND: Die Oberflächen von Emaillierungen laden sich elektrostatisch nicht auf. Flugstaub wird im Gegensatz zu Kunststoffoberflächen nicht angezogen.

TEMPERATURBESTÄNDIG: Im Temperaturbereich von -60 °C bis +450 °C sind Emaillierungen beständig. In dieser Temperaturspanne bleiben alle Eigenschaften des Oberflächenschutzes erhalten.

THERMOSCHOCKBESTÄNDIG: Extreme Temperaturwechsel stellen für Emaillierungen kein Problem dar. So verkraften sie unbeschadet selbst einen Thermoschock von bis zu 300 °C.

UMWELTFREUNDLICH: Emaillierungen sind umweltfreundlich (siehe Umweltrelevanz).

VERBUNDWERKSTOFF: Der Email-Metall-Verbund von Emaillierungen lässt sich nicht mehr trennen. Im Grenzbereich zwischen Metall und Email sind beide Werkstoffe untrennbar miteinander verschmolzen.

VIELFÄLTIG HERSTELLBAR: In der Emailindustrie gibt es viele Auftrags- und Druckverfahren. Die Wahl der richtigen Alternative hängt u. a. von der Form der zu emaillierenden Teile ab.

WARTUNGSARM: Die Oberflächen von Emaillierungen sind weitgehend wartungsfrei. Wasser reicht in der Regel zur Reinigung aus. Im Außenbereich werden emaillierte Flächen durch den Regen „natürlich“ sauber gehalten.

WIRTSCHAFTLICH: Lediglich bei einer oberflächlichen Betrachtung sind Emaillierungen teurer als andere Korrosionsschutzverfahren – und das auch nicht in jedem Fall. Emaillierungen überzeugen aber durch eine besonders lange Lebensdauer. Durch eine Emaillierung wird nicht nur ein qualitativer und ökologischer, sondern auch ein wirtschaftlich sehr hochwertiger Oberflächenschutz erreicht. Ein objektiver Kosten-Nutzen-Vergleich spricht für den Einsatz von Emaillierungen. Trotz teilweise höherer Anschaffungskosten ist die Wirtschaftlichkeit, langfristig gesehen, unübertroffen.

ZUVERLÄSSIG WETTERBESTÄNDIG: Emaillierungen werden weder vom salzhaltigen Seeklima noch von der aggressiven Atmosphäre in Industrieregionen angegriffen. UV-Strahlungen können emaillierte Oberflächen farblich nicht verändern.

Umweltrelevanz

Grundsätzlich sind die Herstellung von Emailfritten und der Emaillierprozess umweltfreundliche Verfahren. Basis der Emails sind natürliche, anorganische Rohstoffe. Auch in der Verarbeitung wird vollständig auf organische Lösungsmittel verzichtet. Als Lösungs- und Reinigungsmittel wird nur Wasser verwendet.

Emaillierungen sind sehr stark beanspruchbar. Emaillierte Produkte überzeugen durch eine besonders lange Lebensdauer, die die von anderen Werkstoffen oft um 100% übertrifft. Mit einer Emaillierung kann ein qualitativer, wirtschaftlicher, ökologischer und sehr hochwertiger Oberflächenschutz erreicht werden. Natürliche Grundstoffe, umweltfreundliche Herstellung, Langlebigkeit in der Anwendung, effektives Recycling – das ist Nachhaltigkeit, wie sie sein soll.

Der von der Wegwerfgesellschaft im Wirtschaftswunder der 50er und 60er Jahre des letzten Jahrhunderts als antiquiert belächelte Oberflächenschutz durch Emaillieren von Metall erweist sich heute besonders unter Umweltaspekten als hochaktuell. Unter ökologischen Aspekten sind emaillierte Produkte von Natur aus besser. Die verzweifelten Kraftanstrengungen, mit denen andere Werkstoffe oder Beschichtungsmaterialien auf eine aus Umweltsicht immer noch wenig akzeptable Verträglichkeit getrimmt werden, sind in der Emailindustrie nicht notwendig. Emaillierte Oberflächen sind traditionell umweltfreundlich. Umweltschutz beginnt im Kopf des Designers und auf dem Reißbrett des Konstrukteurs. Die Bedeutung der Umwelt-

freundlichkeit als Kriterium für die Werkstoffauswahl war früher kein Thema. Doch die Zeiten haben sich geändert. Emaillierungen helfen, die Entsorgungskatastrophe abzuwenden. Emaillierungen sind erstens wesentlich langlebiger und zweitens prinzipiell ohne großen Aufwand recyclingfähig. Haben Emaillierungen nach vielen Jahren oder Jahrzehnten ihre Lebensdauer erreicht, lassen sie sich leicht in den Stoffkreislauf zurückführen. Das verrin-

gert die Abfallmengen und schont Rohstoffressourcen.

Emaillierungen kombinieren in idealer Weise die positiven Materialeigenschaften von Glas und Trägerwerkstoff. Der durch den Einbrennvorgang entstandene neue Verbundwerkstoff ist in seiner Funktion dauerhaft korrosionsgeschützt und kann zudem mit dekorativem Zusatznutzen überzeugen.

Dieser Schrott war einmal eine Badewanne – solche Schrottpakete können bei der Stahlerzeugung eingesetzt und nahezu rückstandslos recycelt werden.



Anwendungen

Funktion und/oder Dekoration

Emallierungen im Haushalt

Haushaltsgegenstände aus emailliertem Metall besitzen eine kaum zu übertreffende Oberflächenhärte, sind beständig gegen annähernd alle im Haushalt vorkommenden Säuren und Laugen, sind temperaturbeständig, farbstabil, abriebfest, antiallergisch und einfach zu reinigen. Emaillierte Geschirre aus Stahlblech oder Gusseisen verbinden Design mit Korrosionsschutz und Hygiene. Emaillierte Gefäße, in denen Lebensmittel aufbewahrt oder zubereitet werden können, enthalten keinerlei bedenkliche Stoffe, die dabei abgegeben werden. Emaillierungen für den Kücheneinsatz sind physiologisch unbedenklich, geschmacksneutral und besonders für Nickelallergiker geeignet.

Aus guten Gründen, wie z. B. Pflegeleichtigkeit, Temperaturbeständigkeit und Hygiene, werden von **allen** Herstellern innen emaillierte Backkästen eingebaut
(Bild: BSH Bosch und Siemens Hausgeräte GmbH)



Ein Geschirr für alle Herde

Emaillierte Töpfe, Pfannen oder Bräter sind für alle Beheizungsarten geeignet. Egal, mit welcher Energiequelle (Gas, Holz, Kohle, Elektro oder per Induktion) geheizt wird, die Wärmeübertragung ist bei Emaillierungen gleichmäßig und einwandfrei. Beim modernen Induktionskochen wird die Hitze dort erzeugt, wo sie wirklich gebraucht wird, im Topfboden. Die Induktionsspule unter der Glaskeramikplatte erzeugt elektromagnetische Wirbelströme im Topfboden mit einer schnellen, fast direkten Energieübertragung und Erwärmung des Kochguts. Emailliertes Kochgeschirr aus Stahl oder Gusseisen ist für alle Beheizungsarten ideal geeignet.



Gusseiserne Formen- und Farbenvielfalt (Bild: Staub / ZWILLING J.A. Henckels AG)



Klassisches Emailgeschirr in modernem Look – Edition Sarah Wiener (Bild: Riess Kelomat GmbH)



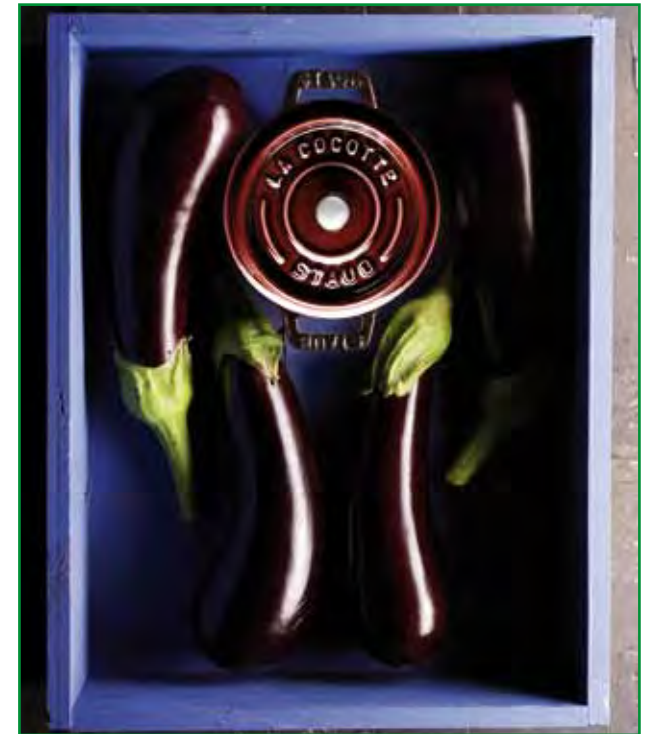
Bringt Farbe auf Herd und Tisch (Bilder: Silit GmbH)



Bilder: Riess Kelomat GmbH



Bilder: Staub / ZWILLING J.A. Henckels AG



Backofen-Monopol

Backöfen werden in Mitteleuropa nur in emaillierter Ausführung angeboten. Überwiegend werden sie mit Gas oder elektrisch beheizt und sind meist Teil eines frei stehenden oder eingebauten Kochherdes. Ihre Funktion ist oft nicht auf das reine Backen beschränkt – Grillspieß-, Mehrfach- und Umluftfunktionen in modernsten Backöfen mit Ein- und Ausschaltautomatik, Thermostatregelung und kombinierter Mikrowelle ergänzen das Angebot. Die Backofenbeheizung erfolgt konventionell statisch oder durch thermische Strahlung kombiniert mit einem Umluftgebläse. Vom alten Kohleherd mit Backofen bis zu den modernen Hightech-Aggregaten hat auch die darin befindliche emaillierte Oberfläche viele technische Entwicklungen durchlaufen. Emaillierte Backöfen sind beständig gegen hohe Temperaturen, plötzlichen Temperaturanstieg, Chemikalien, Säuren und Lösungsmittel und gegen viele mechanische Beanspruchungen. Zudem können Backgutreste einfach entfernt werden. Darüber hinaus gibt es Emailqualitäten für Backkästen und deren Auskleidung, die selbstreinigende Eigenschaften aufweisen. Bei katalytischen Backkästen kann die emaillierte Oberfläche Fett- oder Ölrückstände aufnehmen und diese während des Backvorganges beseitigen. Bei pyrolytischen Backkästen werden die anhaftenden Rückstände in einem speziellen pyrolytischen Zyklus nach dem Backen derart beseitigt, dass die Reste einfach weggewischt werden können. Eine verbraucherfreundlichere Oberfläche für den Backofen ist weder technisch noch wirtschaftlich, trotz vielfältiger Versuche, auf dem Markt. Die Steuerung des Backofens

wird zukünftig sicher mit einer App möglich sein – die emaillierte Backofenoberfläche ist auch für diese Innovation gerüstet.

Emaillierte Backbleche sind robust, temperaturbeständig, hygienisch und leicht zu reinigen
(Bild: Miele & Cie. KG)



Sauber und trocken

Erfolge haben bekanntlich viele Väter. Die Erfindung der Waschmaschine vor über 100 Jahren war so eine Erfolgsgeschichte, damals insbesondere für Hausfrauen und Mütter. Der kohlebefeuerte Waschzuber aus Kupfer hatte bald ausgedient. Die Laugenbottiche und Gehäuse der frühen elektrischen Waschmaschinen bestanden meist aus emailliertem Stahlblech. Die kontinuierliche Weiterentwicklung der Waschmaschinenteknik und der Wandel des Waschmaschinenstandortes hat von der emaillierten Oberfläche bei modernen Waschmaschinen wenig übrig gelassen. Nicht nur die Wäsche muss heute sauber und trocken sein, auch der Waschmaschinenstandort ist es meistens. Standen die Geräte früher oft in feuchten Waschküchen, sind sie heute Teil der Küchenzeile, in gefliesten Badezimmern oder trockenen Hausarbeitsräumen untergebracht. Der emaillierte Korrosionsschutz hat dabei seine Funktionsnotwendigkeit eingebüßt, da die Lebensdauer vieler Maschinen und ihrer Gehäuse oft kaum 10 Jahre erreichen. Der frühe Waschmaschinenpionier Miele setzt aber auch heute noch, wie vor 100 Jahren, auf perfekte Funktion und höchste Qualität. Deshalb ist heute noch die Vorderfront des Außengehäuses mit einer wertbeständigen Emaillierung versehen. Auch nach 20 oder mehr Jahren sollen unter dem Waschmaschinen-Bullauge keine Kratz- oder Korrosionsspuren von Wäschekörben entstanden sein. Kein anderes Material kann das leisten, ist korrosionsgeschützt und kratzfest, farb- und waschlaugebeständig. Und damit das gute Aussehen einer Miele-Waschmaschine, die auf mindestens 20 Jahre Haltbarkeit

ausgelegt ist, auch dann noch perfekt ist wie am ersten Tag, hat Miele ein Emaillierverfahren entwickelt, das Design und Funktionalität perfekt kombiniert.

Emaillierte Frontseite einer Waschmaschine
(Bild: Miele & Cie. KG)



Vom Badezuber zur Wellness-Oase

Schon in der Antike war Baden mehr als Körperreinigung. Die Geschichte des Badens ist lang und abwechslungsreich. Oft stand die Kommunikation mehr im Vordergrund als die Reinigung.

Das regelmäßige Wannenbad für breite Bevölkerungsschichten wurde erst Ende des 19. Jahrhunderts wortwörtlich populär. Infolge der industriellen Revolution wurden durch weiter entwickelte Guss- und Stahlverarbeitungstechnologien komfortable Badegefäße möglich. Doch blieb die verzinkte Badewanne, die den hölzernen Badezuber abgelöst hatte, bis in die 50er/60er Jahre des letzten Jahrhunderts das Reinigungsgerät für die ganze Familie, in dem am Freitagabend – meist nacheinander – Körperpflege betrieben wurde. In den Neubauwohnungen des Wiederaufbaus nach dem zweiten Weltkrieg waren dann Bad/WC Standard. Mit dieser Produktbezeichnung „Standard“ versahen viele deutsche Emailwannenhersteller den Einstieg in die emaillierte Badewelt. Besonders in der Mitte Deutschlands waren bis Ende des 20. Jahrhunderts viele Wannen und Duschen aus emailliertem Gusseisen. Trotz der viel gelobten Qualität dieser Gusswannen wurden sie vom Trend der Formenvielfalt zurückgedrängt. Heutzutage werden emaillierte Gusswannen in Deutschland nicht mehr produziert und müssen importiert werden.

Dieses rundum emaillierte Badewannen-Schmuckstück hat eine extravagante Form- und Farbgestaltung.
(Bild: Bette GmbH & Co. KG)



Die Formen- und Farbenvielfalt der emaillierten Stahlblechbadewanne mit ihren herausragenden Produkteigenschaften haben sie zum beständigen Marktführer in den deutschen und europäischen Badezimmern werden lassen. Heute sind Bad- und Duschwannen nicht nur für die Hygiene zuständig, sondern Orte der Ruhe und Entspannung. Hier stehen „Wellness“ und „Fitness“ im Zentrum. Ein Sprudelbad in einer Whirlwanne entspannt oder belebt, je nach Empfindung. Einen künstlichen Monsunregen in einer großformatigen, bodengleichen Dusche zu erleben, erinnert wenig an die beengte Kabinendusche früherer Tage.

Gleichbleibend ist die Qualität emaillierter Dusch- und Badewannen, die höchsten Anforderungen genügen: robust und hygienisch, abrieb- und kratzfest sowie säure- und chemikalienbeständig. Bakterien, Pilze und Schimmel haben auf den emaillierten Oberflächen keine Chance sich anzusiedeln (ein wesentlicher Vorteil zur gefliesten Dusche). Weder kosmetische noch medizinische Badezusätze oder Parfüms können Schaden anrichten. Emaillierte Wannen sind weiß- und farbbeständig, lichtecht und geruchsneutral. Auf Wunsch werden spezielle Anti-Slip-Emaillierungen ausgeführt, die ein Ausrutschen auf dem feuchten Dusch- oder Wannenboden verhindern. Großen Wert legen die Hersteller auch auf den Lärmschutz, der besonders in Mehrfamilienhäusern wichtig ist. Mit speziellen Anti-Dröhnmatten auf den nicht sichtbaren Außenseiten der Wanne werden Schall- und Tropfgeräusche wirksam verhindert.



Bild: Bette GmbH & Co. KG

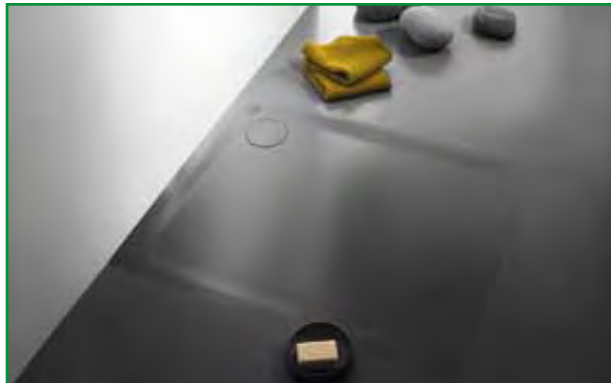


Bild: Franz Kaldewei GmbH & Co. KG



Bild: Franz Kaldewei GmbH & Co. KG



Bild: Bette GmbH & Co. KG



Bild oben: Wilhelm Schmidlin AG Stahlbadewannenfabrik



Emaillierte Badewannen waren die Hauptdarsteller einer Installation des Designer Michele de Lucchi anlässlich der Mailänder Möbelmesse 2013. Zentrales Thema im Rahmen des Projektes „Urban Stories“ war das untrennbare Verhältnis von Mensch und Landschaft. Eine wichtige gestalterische Rolle spielten dabei die emaillierten Sanitärflächen. Nachhaltigkeit, Qualität, zeitloses Design und technische Innovation sind nur einige der Eigenschaften, die emaillierte Duschräume und Badewannen so außergewöhnlich machen.



Bild oben und links: Franz Kaldewei GmbH & Co. KG

Hände waschen nicht vergessen

Waschtische und Einbaubecken aus emailliertem Stahl sind mit ihrem ansprechenden Design und in optimaler Farbabstimmung zur Dusche und/oder Badewanne für den modernen Sanitärausstatter ein Muss. Das emaillierte Material schafft eine unvergleichbare Reinheit der Form. Die emaillierte Oberfläche von Wasch- und Einbaubecken ist genauso schlag- und kratzfest sowie farbrillant, langlebig und hygienisch wie die von Wannen und Duschen.

Emaillierter Stahl im Bad überzeugt durch die Präzision seiner Flächen, Kanten und geometrischen Grundformen. Auch individuelle Waschplatzlösungen und Sonderausführungen sind in Emailstahl nach den Vorstellungen des Bauherrn oder Architekten realisierbar.



Bild: Bette GmbH & Co. KG



Bild: Alape GmbH



Bild: Alape GmbH

Wenn moosgrün verwelkt oder wenn Trendfarben nicht länger trendy sind.....

Das Problem des Farb- und/oder Wannenwechsels ist lösbar ohne eine komplette Neuverfliesung des Bades. Die beiden Abbildungen zeigen wie es geht. Über den Rand der alten Dusche oder Badewanne wird das individuell gefertigte Neuprodukt installiert. Der Mehrpreis für die Sonderanfertigung steht aber in keinem Verhältnis zu den Kosten der ansonsten notwendigen kostspieligen Neuverfliesung.



Bilder oben und rechts (2): CCR / Wilhelm Schmidlin AG



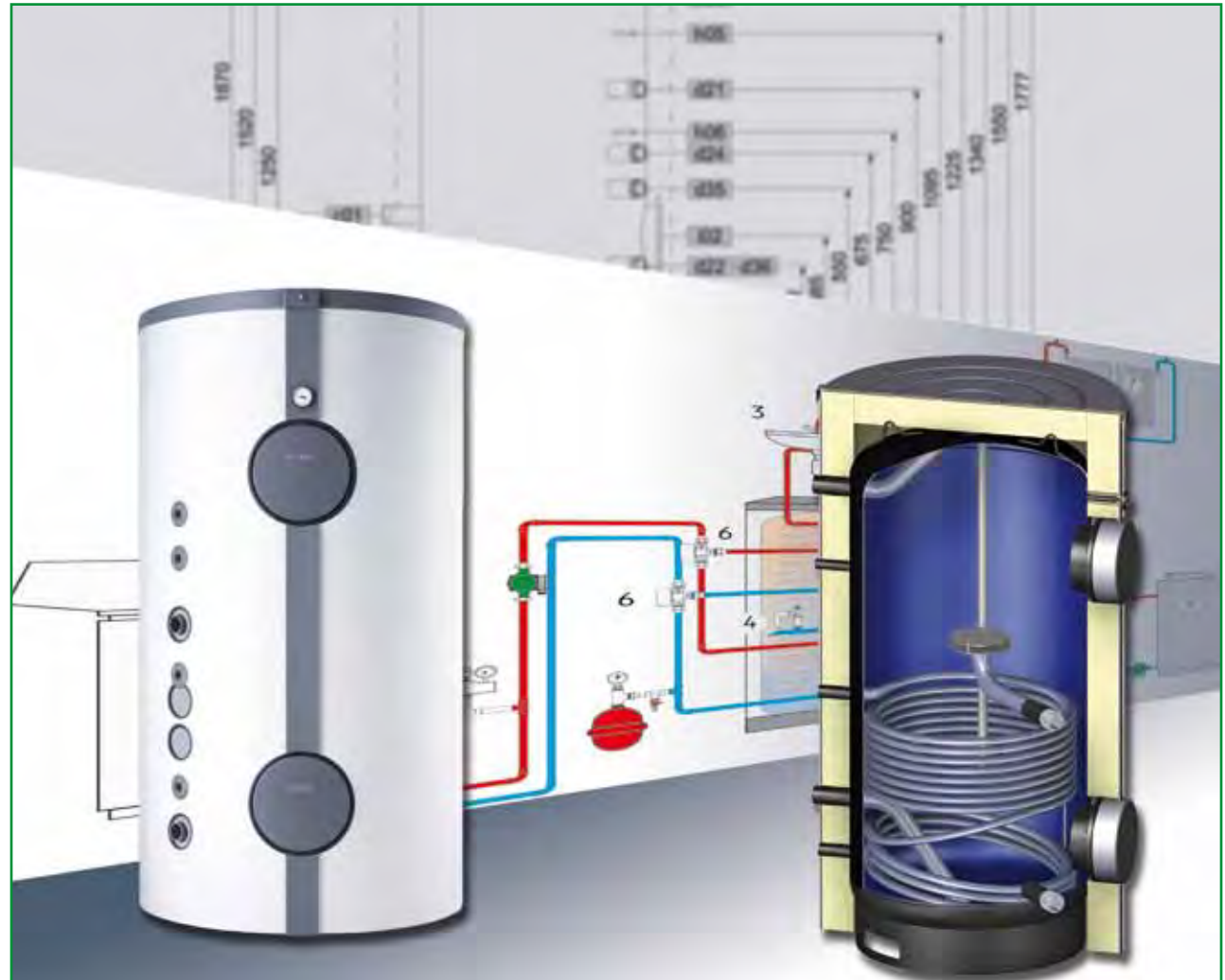
Heizung und Warmwasser

Bild: STIEBEL ELTRON GmbH & Co. KG

Bei modernen Niedrigtemperatur- und Brennwertheizungen, Wärmepumpen und Solarthermie ist die Emaillierung nicht sichtbar, aber meist vorhanden. Der Siegeszug der emaillierten Warmwasserspeicher, die über die Heizungsanlage oder direkt beheizt wurden, begann in den frühen 70er Jahren des letzten Jahrhunderts. Seit über 40 Jahren ist der emaillierte Wassererwärmer – auch Speicher oder Boiler genannt – fester Bestandteil im Programm fast aller Geräteanbieter dieser Branche.

Die Beschaffenheit unseres Wassers ist regional sehr unterschiedlich – hier hart, dort weich. Warmes Wasser ist ein relativ aggressives Medium. Damit Wassererwärmer viele Jahre lang ihren Dienst tun können, wird der Speicher innen mit einem wasserseitig zuverlässigen Korrosionsschutz, dem Email/Metall-Verbund, versehen. Durch die Emaillierung wird die stählerne Hülle eines Wassererwärmers, die naturbedingt korrodieren würde, dauerhaft vor Korrosion geschützt. Der untrennbare Verbund aus Stahl-Email verliert niemals seine isolierende Eigenschaften, bleibt immer elektrisch neutral. Aus diesem Grund können emaillierte Speicher auch an jedes Leitungsnetz angeschlossen werden. Sie haben sich millionenfach und in den unterschiedlichsten Ausführungen bei privater wie gewerblicher Nutzung bewährt.

Die wasserberührte Oberfläche der meist in Großserien hergestellten Wassererwärmer wird bereits durch die Emaillierung zu mehr als 99 % gegen Korrosionsangriffe



immun gemacht. Kleinste Fehlstellen, winzige Poren ganz zu vermeiden, ist aber unmöglich. Als zusätzlichen Korrosionsschutz bauen alle Hersteller in jeden emaillierten Speicher eine Anode ein. In der Ergänzung Email + Anode liegt die 100 %-Sicherheit. Die Kombination von Email + Anode ist ein zuverlässiges Gesamtsystem, das in der aktuellen DIN 4753 festgelegt ist. Die für Wassererwärmer entwickelten Spezialemails bestehen wegen ihrer ausgezeichneten Wasser-, Wasserdampf- und Säurebeständigkeit den Anforderungen der DIN 4753. Nach DIN gefertigte Wassererwärmer bieten eine sichere Voraussetzung für eine lange Lebensdauer der Anlage.



Bild: Vaillant GmbH

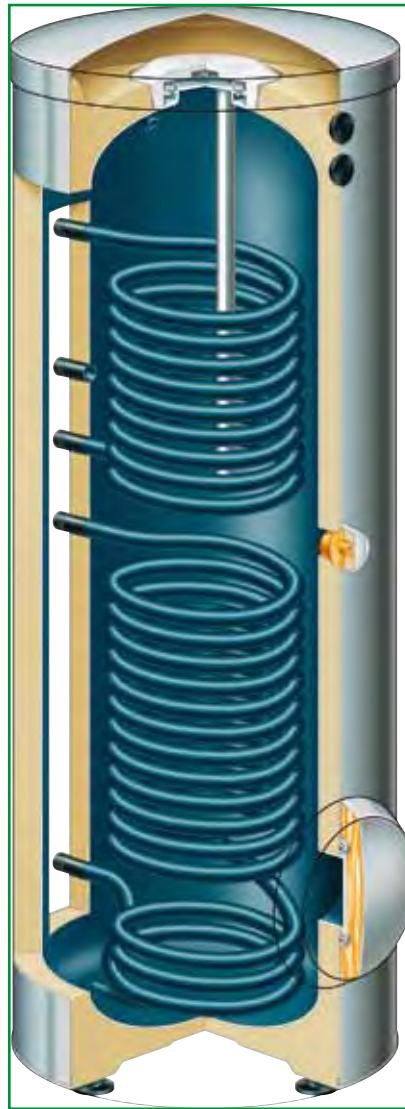


Bild: Viessmann GmbH



Bild: Vaillant GmbH



Die Faszination eines offenen Feuers kombiniert mit dem Nutzen einer zusätzlichen Heizquelle hat dazu geführt, dass Kaminöfen und Heizeinsätze auf der Wunschliste vieler Immobilienbesitzer ganz oben stehen. Mit emaillierten Ofenrohren können zusätzlich farbige Akzente gesetzt werden.



Bild (rechts): Muldenthaler Emaillierwerk GmbH

Bilder (3, links und unten): Dovre NV



Technische Emaillierungen

Emaillierungen in der Technik

Besonders in der Chemie- und Pharmaindustrie, aber auch in der Wasserver- und -entsorgung sowie in speziellen Nischen des allgemeinen Maschinenbaus, nehmen technische Emaillierungen als Allround-Werkstoff einen festen Platz ein. Je nach Einsatzbereich lassen sich technische Emaillierungen mit einem generell breiten Funktionsprofil auf viele, sehr spezielle Anforderungen hin ausrichten. Durch die Verbindung der Strukturwerkstoffe mit den die Oberflächen bestimmenden Emailqualitäten werden vielfältige Anforderungen mit unterschiedlichen Schwerpunkten erfüllt, z. B. in der Trinkwasserversorgung, in der Abwasserbehandlung, in der Wirkstoffchemie, im Lötanlagenbau, in der Pharmazie unter GMP-Bedingungen oder mit Hygiene-Design-Vorgaben. Bei technischen Emaillierungen stehen die technologischen Anforderungen, die physikalisch und chemisch beschreibbaren Belastungsbedingungen an das Oberflächensystem im Vordergrund.

Die wesentlichen werkstofftypischen Merkmale von technischen Emaillierungen:

- hohe Resistenz gegen einen Korrosionsangriff, insbesondere saurer Medien auch bei höherer Prozesstemperatur
- hoher Verschleißwiderstand gegen abrasiv wirkende Medien
- Glätte der Oberfläche

Die Abbildung macht die Dimension deutlich. Emaillierte Apparate und Rührwerksbehälter können in Volumina gebaut werden, bei denen der Mensch ganz klein aussieht.

Bild: De Dietrich Process Systems



- leichte Reinigung, keine Adhäsionsneigung
- biologisch und katalytisch inertes Verhalten.

Unterstützt werden die werkstofftypischen Eigenschaften von technischen Emaillierungen durch entsprechend ausgelegte konstruktive Gestaltungen, die die positiven Eigenschaften stärken und bestehende Einschränkungen nach Möglichkeit ausschließen.

Chemisch-mechanischer Werkstoffverbund

Technische Emaillierungen zeichnen sich im Unterschied zu z. B. Nass- oder Pulverlacken sowie Kunststoffauskleidungen durch eine intensive, auf chemischen Reaktionen zwischen Email und Metallsubstrat und mechanischer Verklammerung des Emails durch den metallenen Untergrund beruhende Verbindung zum Trägermetall aus. Sie ist gekennzeichnet durch Diffusionsprozesse aus dem Trägerwerkstoff in Richtung Email und umgekehrt.

Durch die Lösung oberflächennaher Metallkomponenten des Substratwerkstoffes in die Emailmatrix wird zunächst eine optimale Strukturierung der Oberfläche zur Bildung der mechanisch/physikalischen Verbindung erzeugt. Die partielle chemische Anlösung der Substratoberfläche verursacht eine zunehmende Rauigkeit; die daraus folgende Ausbildung von Hinterschneidungen bietet eine große Zahl von Ankerpunkten für die intensive mikromechanische Verbindung.



Bilder (3): Pfaudler Werke GmbH

Mit einer technischen Emaillierung versehene Apparate finden vielseitige Anwendungen in der Chemie- und Feinchemie, Lebensmitteltechnik und Pharmaindustrie. Im Hinblick auf die Vielfältigkeit der Verfahren, ihre spezifischen Problemstellungen und auch die Zielsetzung der Produktivitätserhöhung und Qualitätsverbesserung, entwickelten die Hersteller von emaillierten Apparaten oft in Zusammenarbeit mit den Emailherstellern neue, widerstandsfähige Emailrezepturen. Die Apparatehersteller bieten eine komplette und nach den verschiedenen Verfahren eingeteilte Baureihe von Rührbehältern vom kleinen Gefäß im Labormaßstab bis zum 110 m³ Rührbehälter für verschiedene Druck- und Temperaturbereiche. Großvolumige Reaktoren mit bis zu 60 m³ bei einem Druck von 30 bar, einem Gewicht von 75 t und 60 mm Stahldicke sind im Kundeneinsatz. Besonders für die Pharmaindustrie werden GMP-gerechte Apparate aus emailliertem Edelstahl gefertigt, die in Reinräumen genutzt werden. Spezielle Entwicklungen von emaillierten Behälter- oder Zubehörteilen, z. B. Blockflansche oder spezielle Ventile, in Deckeln eingeschmolzene Schaugläser oder Wärmetauscher und emaillierte Profilprägeplatten zum Heizen oder Kühlen, zeigen gravierende Vorteile gegenüber nicht emaillierten Ausführungen.

Technische Emaillierungen haben sich im Apparatebau als hervorragendes Verbundsystem, das unter vielseitigsten Betriebs- und Belastungsbedingungen eingesetzt werden kann, bewährt. Technische Emaillierungen sind eine moderne und anwendungsvariable Werkstoffalternative in der Chemie- und Pharmaindustrie.

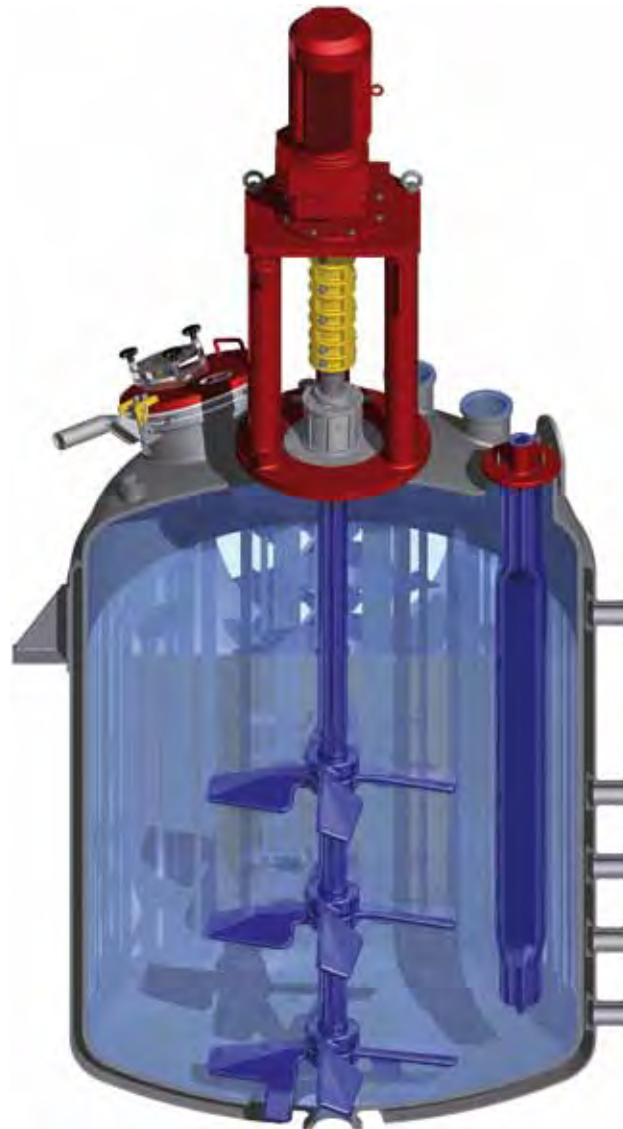


Bild: THALETEC GmbH



Bild: Pfaudler Werke GmbH

Emaillierte Armaturen und Druckrohrformstücke

Armaturen und Druckrohrformstücke werden erfolgreich in emaillierter Ausführung traditionell in der Roh- und Trinkwasserversorgung eingesetzt. Emaillierte Bauteile eignen sich hier aufgrund der Vermeidung von Inkrustationen besonders für die Wasserversorgung. Technische Emaillierungen als anorganischer Werkstoff liefern keinen Nährboden für Mikroorganismen und sind deswegen aufgrund der hohen Oberflächenglätte besonders hygienisch. Die Anforderungen an die Produktqualität trägt den Lebensdauerbeanspruchungen der Armaturen und Druckrohrformstücke Rechnung. Im Wesentlichen wird als Trägerwerkstoff Gusseisen verwendet. Zwischen Gusseisen und Email liegt ein Werkstoffverbund mit einer stabilen Zwischenschicht vor, der die Unterwanderung des Systems ausschließt. In den Qualitätsanforderungen und Prüfvorschriften für emaillierte Gussarmaturen und Druckrohrformstücke für die Roh- und Trinkwasserversorgung sind detaillierte Regelungen enthalten, die dann auch in die DIN EN ISO 28721 eingeflossen sind.

Medien leiten, fördern, trennen

Ein wichtiges Anwendungsgebiet von technischen Emaillierungen sind Rohrleitungen. Neben den Rohrleitungsteilen selbst kommen emaillierte Ventile zum Einsatz. Die Hersteller von technischen Emaillierungen verfügen über ein umfangreiches Standardprogramm an Rohren, Fittings und Zubehör, wie z. B. Flansche, Dichtungen, Aufhängungen etc. Bei der Weiterentwicklung von emaillierten



Bild: Düker GmbH & Co. KGaA



Bild: ERHARD GmbH & Co. KG

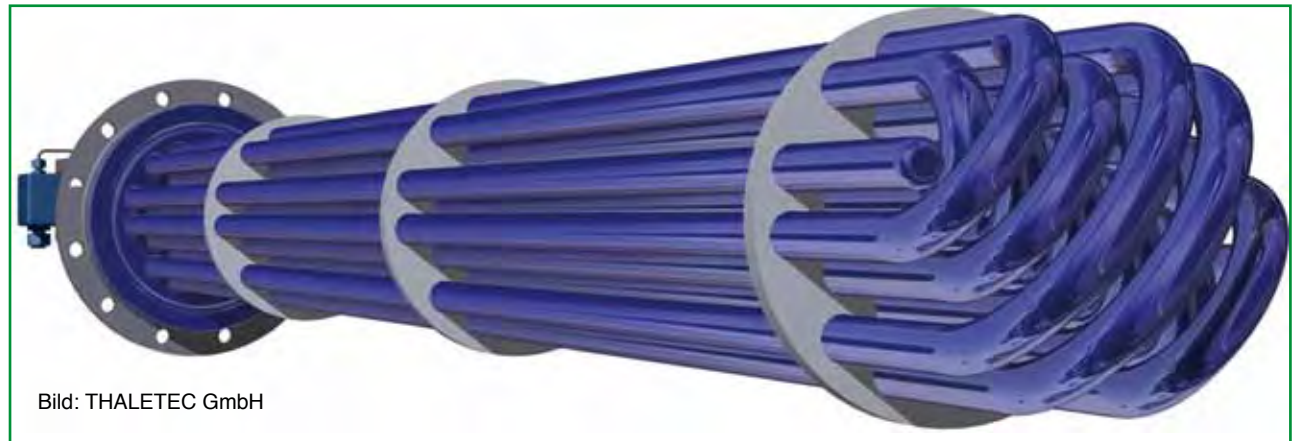


Bild: THALETEC GmbH

Rohrleitungen wurde besonders auf eine Minimierung von Toträumen im Bereich der Rohrverbindungen geachtet. Der besondere Vorteil von emaillierten Rohrleitungen liegt neben der hohen chemischen Beständigkeit vor allem in der Diffusionsdichtheit und der Vakuumfestigkeit. Darüber hinaus werden emaillierte Pumpen angeboten, bei denen alle produktberührenden Teile mit einer hochwertigen technischen Emaillierung versehen sind.

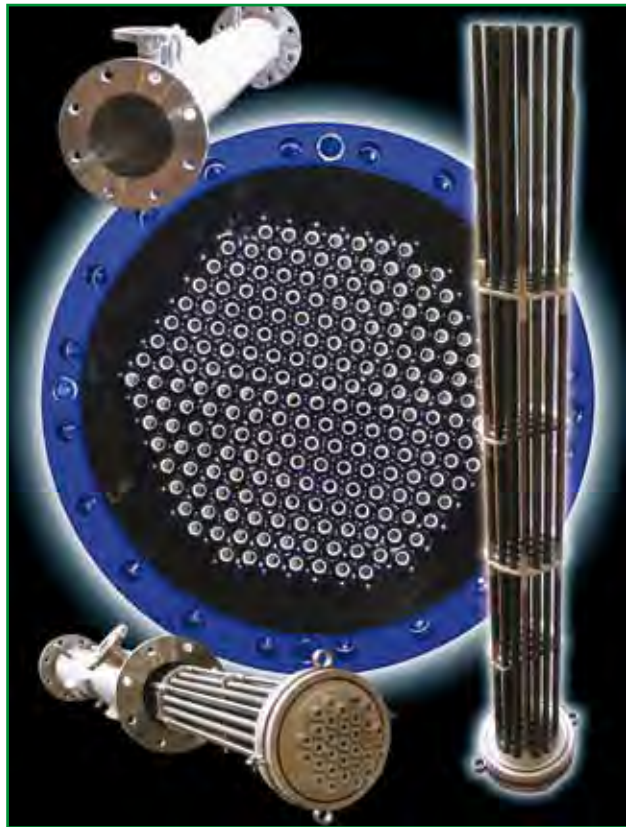
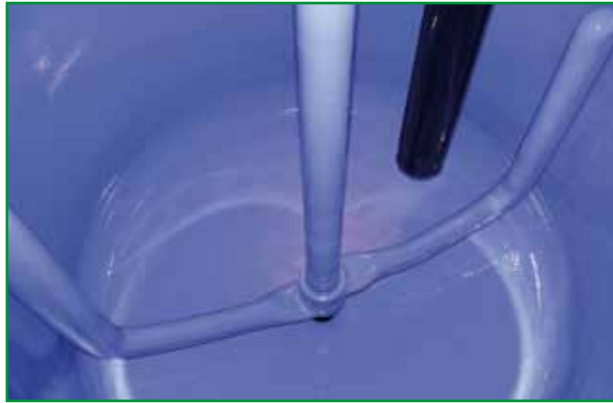


Bild: Pfaudler Werke GmbH

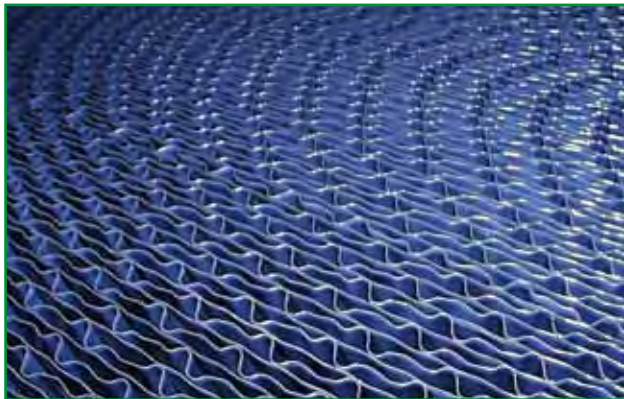


Bilder (6): THALETEC GmbH



Emaillierte Wärmetauscherplatten

Durch eine technische Emaillierung kann die Lebensdauer von Wärmetauscheranlagen in Kraftwerken erheblich verlängert werden. Ungeschützte Stahloberflächen würden besonders durch die im Prozess auftretende verdünnte Schwefelsäure stark korrodieren. Die Lebensdauer der unterhalb des Säuretaupunktes eingesetzten profilierten Stahlheizflächen wird deutlich erhöht. Die speziell profilierten Emaillierungen für die Luft- und Gasvorwärmung in der Kraftwerktechnik entziehen dem Rauchgas Wärme und übertragen diese an die über Ventilatoren angesaugte Frischluft. Die technischen Emaillierungen bestehen aus dicht gepackten, gefalteten Stahlblechpaletten, die Rauchgaswärme aufnehmen bzw. abgeben können. Überall dort, wo Schwefelsäure kondensiert und aufgrund der Anlagentemperatur und Rauchgasfeuchte eine Schwefelsäurekonzentration < 60 bis 70 % auftreten kann, sind Emaillierungen anderen Werkstoffen technisch und wirtschaftlich überlegen.



(Bilder 3: Ferro Technik B.V.)



Emaillierte Wärmetauscherbleche sind heute bei den meisten Entschwefelungsanlagen für die Rauchgasreinigung von fossilbeheizten Kraftwerken Kern der Anlage. Facettenartig angeordnet werden die emaillierten Bleche im Herstellerwerk vormontiert. In wieder transportfähige Teilkomponenten zerlegt, erfolgt die Endmontage im Kraftwerk. Seit über 25 Jahren haben sich emaillierte Profilbleche als Konstruktionsmaterial gegenüber alternativen Basismaterialien für regenerative Wärmetauscher durchgesetzt. Verfahrenstechnisch werden die thermisch-mechanischen Eigenschaften des Stahls (Festigkeit, Verarbeitbarkeit, Wärmeleitfähigkeit) mit der hohen chemischen Beständigkeit von Spezialemails kombiniert. Das Verbundmaterial aus Stahl und Email ist dank seiner Korrosionsbeständigkeit und vergleichsweise guten Wärmeleitfähigkeit besonders wirtschaftlich.



Segmentierte Großbehälter

Aus dem Bereich der Landwirtschaft sind emaillierte Großbehälter aus segmentierten Einzelplatten im Bereich der Güllebehälter oder als Viehfuttersilos bekannt. Rasche und einfache Montage, lange Lebensdauer und geringer Wartungsaufwand haben die robusten Stahl-Email-Behälter auch für andere Anwendungen, wie z. B. Faulreaktoren, Belebungs- und Nachklärbecken, Gülle-, Schlamm- und Biogasbehälter, Behälter für Ölprodukte,

Schüttgutsilos sowie für die allgemeine Lagerung von Trink-, Nutz- und Abwasser, prädestiniert. Die Segmentbauweise der Behälter aus gebogenen Stahlplatten ermöglicht eine rasche Montage selbst in entfernten Regionen. Der ausgezeichnete Schutz von emailliertem Stahl vor Korrosion, die Schlag- und Abriebfestigkeit, die hygienische Oberfläche, die Temperaturbeständigkeit und die Beständigkeit gegen aggressive Medien bei ausgezeichneter Langzeitbeständigkeit sprechen auch hier für den Einsatz von Emaillierungen.



Bild: Henze Harvestore GmbH



Bild links: Omeras GmbH

Bild unten: GLS Tanks Produktion GmbH



Architekturemaillierungen

Viele markante Bauwerke sind mit emaillierten Architekturelementen veredelt. Im Hochbau eignet sich emaillierter Stahl für ganze Fassaden oder schmuckemaillierte Fassadenelemente. Im Innenausbau ermöglichen emaillierte Wand- und Deckenverkleidungen herausragende architektonische Akzente. Besonders in Ballungsräumen werden Gebäudeoberflächen einer starken Beanspruchung durch Umweltbelastungen, wie z. B. Feinstaub, Abgase, sauren Regen etc., ausgesetzt. Die glasartige Beschichtung macht emaillierte Architekturelemente gegen aggressive chemische Verschmutzungen resistent. Da die Farben bei Architekturemaillierungen nicht nur oberflächlich aufgebracht, sondern aufgeschmolzen sind, können materialbedingt ästhetische und optimale Lösungen erzielt werden. Durch die kratzfeste Emailoberfläche haben sich Architekturemaillierungen überall dort bewährt, wo die Oberflächen auch physisch stark belastet und auch abgenutzt werden: in öffentlichen Gebäuden, in U-Bahnstationen, auf Flugplätzen, in Schalterhallen und dergleichen mehr. Durch die antibakteriellen Eigenschaften und die Beständigkeit gegen Feuchtigkeit ist der Einsatz von emaillierten Elementen auch in Krankenhäusern, Reinräumen, Schwimmbädern und Sanitäranlagen sinnvoll. Aufgrund der Farbgebungs- und Dekorationsmöglichkeiten erfüllt emaillierter Stahl weit mehr als nur eine Schutzfunktion, sondern wird zu einem wichtigen dekorativen Element. In vielen Jahrzehnten haben sich Architekturemaillierungen selbst unter extremen Witterungsbedingungen dauerhaft bewährt. Darüber hinaus erhalten unerwünschte Graffiti keine Chance. Die glasglatte Oberfläche von Architektur-

maillierungen lässt sich mühelos, selbst von trockenen Lacken, wieder reinigen. Diese Materialeigenschaft ist neben der Nichtbrennbarkeit besonders im Tunnel- und U-Bahnbereich von herausragender Bedeutung.

Bild: Omeras GmbH





Bilder (4) oben: PolyVision N.V.

Bild rechts: Wilhelm Schmidlin AG



Bilder (2) oben: PolyVision N.V.



Das Frankfurter Museum Angewandte Kunst wurde 1985 durch den weltbekannten Museumsarchitekten Richard Meier konzipiert. Bei der von ihm stets favorisierten Fassadenfarbe wählte er die Kombination aus weißen Putzflächen und porzellanfarbig emaillierten Paneelen. Bei der nach fast dreißig Jahren notwendigen Gebäudesanierung wurde vieles wieder in den Ursprungszustand rücksaniert. Bei den Emailpaneelen war dies nicht notwendig – sie erstrahlen im gleichen Weiß wie bei der Eröffnung. Von den rund 2.000 Paneelen mussten nur wenige Stücke ausgewechselt werden. Die emaillierte Oberfläche war und ist licht- und witterungsbeständig – ein Vergilben ist somit auch zukünftig ausgeschlossen. Das weiße Schmuckstück von Richard Meier am Frankfurter Museumsufer kann weiterhin in seinem Weiß strahlen.



Bilder (4) Mitte und oben: CCR

Schilder und Plakate

aus emailliertem Stahl bewirken durch eine individuelle Ausführung nach Kundenwunsch eine unverwechselbare Präsentation von Produkt und Unternehmen. Firmen- und Hinweisschilder vermitteln mit individuellen Schriften eine persönliche Note. Logos und Firmenzeichen können im Siebdruckverfahren farbgetreu emailliert werden. Email-

lierte Straßennamenschilder und Hausnummern verwittern nicht, sind gut lesbar und sehen auch nach Jahren noch so aus wie am Tag der Montage. Technische Beschilderungen, z. B. in Raffinerien oder Umspannwerken, widerstehen härtesten Bedingungen. Trotz aller Schnellebigkeit in der Werbewelt überzeugen emaillierte Plakate durch eine faszinierende, imagefördernde Ausstrahlung, die sich positiv auf das beworbene Produkt überträgt.



Bild oben u. rechts: Ernst Schmitt GmbH Schilderfabrik
Bild unten: Riess Kelomat GmbH



Bild: Allgeier-Email

Auch im Schifffahrtsbereich und im schienengebundenen Verkehr werden Emailierungen wegen ihrer außergewöhnlich langen Standzeiten geschätzt. Emailierte Pergellatten zeigen unter extremen Witterungsverhältnissen die Wasserstände von Flüssen an. Bei Streckenzeichen und im Signalwesen vertrauen Privat- und Staatsbahnen weltweit auf die UV- und Temperaturbeständigkeit von Emailierungen.



Bilder (oben links und Mitte): Muldenthaler Emailierwerk GmbH

In die farbige Deckemaillierung von Schildern und Plakaten sind die beigemischten Farbpigmente unauslöschar eingeschmolzen. Grafische Elemente können durch verschiedene Verfahren realisiert werden. Bei der klassischen Methode des Schablonierens wird die getrocknete, vollflächig aufgetragene Emailsicht abgebürstet und somit ein plastischer Schriftzug erzeugt. Beim Strich- und Raster-Siebdruck werden nicht nur Voll-, sondern auch Halbtöne von fototechnisch gerasterten Vorlagen übertragen. Bei der Schiebebildtechnik (Umdrucktechnik mit Abziehbild) werden fotografisch erstellte, fein gerasterte Lithovorlagen mit Emaildruckpasten auf Spezialpapier gedruckt. Dies kann heute auch im direkten Digitaldruck (s. Abb. oben links) erfolgen.

Bilder (2) links und rechts: CCR

Emailierte U-Bahn- und Tunnelpaneele

verringern die Energie- und Wartungskosten, erhöhen aber die Verkehrssicherheit und verbessern die Licht- und Akustikverhältnisse in U-Bahn- und Straßentunneln. Besonders die gravierenden Unfälle und Brände in Straßentunneln (Tauern, St. Gotthard, Mont Blanc) fokussierten die Aufmerksamkeit der Verantwortlichen und der Öffentlichkeit auf die problematischen Sicherheitsverhältnisse in vielen Straßentunneln. Emailierte Paneele erfüllen die wichtigsten Anforderungen an Tunnelauskleidungen:

- feuerbeständig, nicht brennbar
- Feuerschutz für die dahinter liegenden Tunnelkonstruktionen und Versorgungsleitungen
- Verbesserung der Lichtverhältnisse und gleichmäßige Lichtverteilung
- farb-, korrosions- und thermoschockbeständig
- wartungsarm, leicht zu reinigen
- integrierte Beschriftungen und Hinweise
- einfache Montage (Systembauweise).



Bild oben: PolyVision N.V.

Bilder (2) rechts: Omeras GmbH



Die südlichen Einfahrtzonen des Hamburger Elbtunnels sind seit fast vierzig Jahren mit Emailpaneelen verkleidet. Die robusten Emailflächen sind Spritzwasser geschützt und absolut frostsicher. Die leicht reinigbaren weißen

Flächen lassen die Tunneleinfahrten optisch heller erscheinen und tragen zu mehr Sicherheit bei. Emailoberflächen im Tunnel- und U-Bahn-Bereich haben zudem eine weitere bei diesem Anwendungsfall erforderliche Eigen-

schaft: Sie sind graffiti-prohibitiv. Lacke, Farben, Kleber und andere chemische Stoffe haften kaum und lassen sich mühelos wieder entfernen.

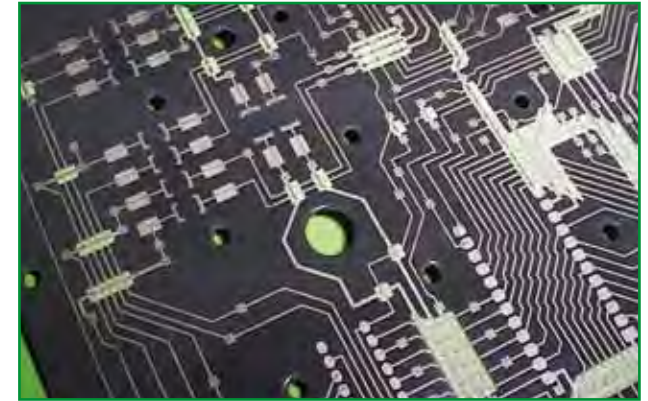
Bilder (3): CCR



Dickschicht-Heizelemente Porcelain Enamel Metal Substrates (PEMS)

Bereits seit Ende des letzten Jahrhunderts werden Dickschicht-Heizelemente für Haushaltsanwendungen, z. B. Wasserkessel, hergestellt. Dabei wird ein Edelstahl-Basismaterial mit einem hochtemperatur- und hochspannungsresistenten Email beschichtet. Die Emailschrift fungiert als elektrischer Isolator für die Heizbahn, die mit einer Dickschicht-Technologie auf das Email aufgebracht ist. Das Dickschicht-Heizelement verfügt über eine elektrische Isolation von 1.250 Volt (Wechselstrom), damit der Verwender geschützt ist. Die Heizbahn ist mit einer ebenfalls

mit Dickschicht-Technologie aufgetragenen Deckschicht bedeckt, um die Heizbahn bei Anwendung vor Feuchtigkeit zu schützen. Für ein zuverlässiges Dickschicht-Heizelement müssen die thermischen Ausdehnungskoeffizienten zwischen Edelstahl und Emaillierung angepasst sein. Andere wichtige Parameter sind die Emailhaftung, die Thermoschockbeständigkeit und der Ableitstrom, der für den Überhitzungsschutz genutzt wird. Bei PEMS macht man sich die dielektrischen Eigenschaften des Emails zunutze. Die niedrige Masse und die schnelle Erhitzung zusammen mit einer exzellenten Temperaturkontrolle machen Dickschicht-Heizelemente für eine Vielzahl von Haushaltsanwendungen interessant.



Bilder (2): Ferro Techniek B.V.



Das grundsätzliche Verfahren, elektrische Heizleiter auf emailierte Trägerplatten zu drucken und nachher einzubrennen, wird auch für die neu entwickelten kompakten Durchlauferhitzer zur direkten Erwärmung von Heißwasser genutzt. Bei niedriger thermischer Masse und hoher Leistung ist eine schnelle Aufheizung möglich. Alle mit Wasser in Kontakt kommenden Komponenten sind robust und dauerhaft. Das Wasser wird dabei durch eine Edelstahlspirale entlang des Heizelementes geleitet. Die hohe Wassergeschwindigkeit von 1,5 m pro Sekunde ermöglicht eine schnelle Erhitzung auf bis zu 95 °C. Die Konstruktion dieser neuen Durchlauferhitzer ist sehr kompakt. Ein kleines, gedrucktes Dickschichtelement mit einem Durchmesser von 80 mm generiert 1.800 Watt Leistung im Wasser. Eingesetzt werden die Durchlauferhitzerelemente bei der Heißgetränkeherstellung in Küchengeräten oder Getränkeautomaten, in denen schnell direkt erhitztes, heißes Wasser energie günstig zur Verfügung steht.

Das Anwendungsspektrum von Dickschicht-Heizelementen ist sehr vielfältig. Auf Kundenwunsch können die unterschiedlichsten Formgebungen realisiert werden.



Bilder (2): Ferro Technik B.V.



Schule, Kommunikation, Interaktion

In Belgien wurde Anfang der 70er Jahre des letzten Jahrhunderts ein Unternehmen gegründet, dessen Kernkompetenz bis heute in der kontinuierlichen Coil-Emaillierung besteht. Das Unternehmen ist damit zum Weltmarktführer in visuellen Kommunikationserzeugnissen geworden. Grundlage war und ist der e³ Umwelt-Keramostahl™, der zu Weiß- und Kreidetafeln weiter verarbeitet wird. Der e³ Umwelt-Keramostahl™ bildet auch die Grundlage für die eno® interaktiven Weißtafeln, die wie das gesamte Unternehmen mit dem silbernen Cradle to Cradle®-Zertifikat ausgezeichnet worden sind. Die Emaillierungen „von der Rolle“ werden weiter verarbeitet zu

- Kreidetafel­flächen (magnetisch, dauerbeständig, nutzerfreundlich, umweltfreundlich, konform mit EN ISO 28762)
- Weißtafel­flächen/Konferenztafeln (trocken abwischbar, magnetisch, unbegrenzt haltbar, umweltfreundlich, konform mit EN ISO 28762)
- Interaktive eno®-Weißtafeln mit vielseitigen Einsatzmöglichkeiten und PC/Beamer-Anbindung (trocken abwischbar, magnetisch, interaktiv, umweltfreundlich, konform mit EN ISO 28762).



Bilder (4): PolyVision N.V.

Garten, Hobby, Kunst und Freizeit

Auch wenn die industrielle Emaillierung in dieser Informationsschrift im Mittelpunkt steht, kann das Thema KunstEmail nicht ausgespart werden, denn die Ursprünge des Emaillierens lagen im künstlerischen, kunsthandwerklichen Bereich. In China und Indien sowie im Nahen Osten wurde schon vor Christi Geburt mit großem Können emailliert. Neben Schmuckgegenständen wurden vielfach liturgische Gefäße emailliert. Im Wesentlichen wurden dabei drei verschiedene Techniken angesetzt: Zellen- oder Kapselschmelz, Gruben- oder Füllungsschmelz, Limosiner- oder Maler-Email. Künstler und Kunsthandwerker verwenden heute weiterhin diese traditionellen Techniken. Trotz weltweit bestehender Künstlernetzwerke hat das Emaillieren seine größte Bedeutung seit der industriellen Revolution nicht mehr in der künstlerischen Anwendung, sondern für Industrie-, Wirtschafts- und Verbrauchsgüter. Nur ein österreichisches Unternehmen kann sich mit eigenen Boutiquen in den Weltmetropolen als globaler Player im Luxusschmucksektor – in einer konkurrenzlosen Nische positioniert – behaupten. Künstlerische Leistung, Einzigartigkeit, Farbbrillanz und Exklusivität sind die Charakteristika der Schmuckstücke, die dort in schöpferischer und handwerklicher Meisterschaft hergestellt werden.

Auch im Garten und in der Freizeit finden sich zahlreiche emaillierte Produkte. Emaillierte Namenstafelchen für das häusliche Gewürzbeet oder der wetterbeständig emaillierte Kugelgrill sind nur zwei Beispiele. Holzbefeuerte Terrassenheizgeräte oder Feuerschalen mit einer dauerhaft witterungs- und hitzebeständigen Emaillierung machen das heimische Open-Air-Vergnügen erst richtig gemütlich.



Das gartengrün emaillierte Bankelement ist (noch) nicht zu kaufen. Im Rahmen einer Diplomarbeit entstand dieses Designmöbel in Zusammenarbeit mit einem Emaillierwerk.

Bild: Schwericke



Bild: Ferro Technik B.V.



Viele Köche bevorzugen als Heizmedium Gas und Grillfreunde schätzen das schonende Bruzzeln bei geschlossenem Deckel des emaillierten Kugelgrills.

Bild: Ferro (Holland) B.V.



Bild: FREY WILLE Deutschland GmbH



Das fast schon künstlerisch anmutende Foto rechts umreißt die Spannweite der Verwendung von Emailierungen – vom Kunsthandwerk und Schmuckstück (s. oben) bis zur großvolumigen technischen Emailierung.

Bild oben: FREY WILLE Deutschland GmbH

Bild rechts: THALETEC GmbH



Geschichtlicher Abriss

In den Hochkulturen von China, Japan, Indien und Ägypten haben Künstler das Emaillieren lange vor Christi Geburt zu hohem Ansehen gebracht. In der Neuzeit wurde die farbige Veredelung von Metall Teil des Kunsthandwerkes. Die erste Blüte erlebte die Emailkunst vom 5. bis 10. Jahrhundert nach Christus in Byzanz. Besonders herausragend war die Emailkunst am Rhein vom 11. bis 14. Jahrhundert und im Limoges in Frankreich vom 12. bis zum 17. Jahrhundert. Doch im 18. Jahrhundert kam die Emailkunst in Europa fast völlig zum Erliegen und wurde erst im 19. Jahrhundert durch die Anwendung auf Eisengeräten neu erweckt und den modernen Bedürfnissen angepasst. Die nur im Kleinen betriebene Emailkunst früherer Jahrhunderte wurde nun im Zeitalter von Kohle und Eisen zur schnell wachsenden Emailindustrie für die Güter des täglichen Bedarfs. In den folgenden Jahrzehnten haben sich viele Wissenschaftler und Praktiker auf die industrielle Emaillierung fokussiert. Die Entwicklung des Emailliens hat gegenwärtig ein Höchstmaß von Vollkommenheit erreicht. Dennoch wird ständig an der Neu- und Weiterentwicklung von Emails und neuen Auftragsverfahren gearbeitet, um der Email verarbeitenden Industrie optimale Emails und darauf abgestimmte Verarbeitungsverfahren anbieten zu können.

Der nachfolgende Zeitstrahl beginnt 2.500 Jahre vor Chr. und endet um 1990. Die Emailgeschichte umfasst damit rund 4.500 Jahre. Kein heute noch im industriellen Maßstab eingesetzter Oberflächenschutz von Metallen hat diesen geschichtlichen Hintergrund. Doch die Emailindus-

trie lebt nicht von der Historie, sondern im Hier und Jetzt. Die vielfältigen Produkt- und Verfahrensentwicklungen in allen Anwendungsbereichen belegen dies eindrucksvoll.

Zeitstrahl

v. Chr.

2500	Zelleneinlagen / Ägypten (Gold) kristallines Material, später Glas
2000	erste Keramikglasuren / Ägypten
1700	Rezepturen für Farbglasuren / Assyrien
1600-1200	Glasdekors / Mykene (Edelmetalle)
1470	Glasemail-Pokal / Ägypten
1425	Blauemail auf Gold / Mykene
1200	Emails / Zypern
1000-500	Emails / Babylon
800	Emailschmuck / Zypern / Ägypten
700	Farbemails / Aserbaidshan
6. Jh.	weiße/blau/grüne Emails / Griechenland
5. Jh.	Grubenschmelz – Bronze / Griechenland
500-400	Emails / Etrurien (Toscana) u. Südrussland (Skyten)
4. Jh.	erste emaillierte Goldgegenstände / Ägypten

n. Chr.

1. Jh.	Glas auf Metall / östliches Mittelmeer Einflüsse aus China, Indien, Persien
1.-3. Jh.	Griechen, Briten, Kelten mit erstem Höhepunkt im Emaillieren
200	Barbarenemail / Germanien
4.-7. Jh.	Farbstein-Email-Einlagen / Germanien

5.-10. Jh.	Blütezeit Persien/Byzanz/syrischer Einfluss Emailiertechnik Europa, Email eigenständiges bildkünstlerisches Material
8. Jh.	hochentwickelte Zellenemailtechnik Byzanz
8.-17. Jh.	entwickelte Goldschmiedekunst Ungarn, Frankreich, Mailand, Prag, Dresden; an Rhein, Maas, Mosel
10. Jh.	Senkemailarbeiten / Südrussland/Georgien
10.-11. Jh.	Gruben- und Zellenemails Mitteleuropa (byzantinischer Einfluss)
1000	Emailtechnik / Südrussland Hochblüte im zaristischen Russland (Fabergé)
10.-15. Jh.	mittelalterliche Kupfer- und Bronzeemails römisch/germanische Gruben-/Schmelztechnik
11.-14. Jh.	Blütezeit Rheingebiet
12. Jh.	Entwicklung westeuropäischer Emailzentren / Rhein, Limoges
13. Jh.	Durchsetzung des Grubenschmelzverfahrens / Limoges
ab 14. Jh.	feuervergoldetes Kupfer
14.-15. Jh.	ganzflächige Emaillierungen / Europa Grubenschmelzemail auf Silber
ab 15. Jh.	Maleremail / Limoges (Grisaille-Email)
1500	Entwicklung gotischer Tiefschnittemails
15.-18. Jh.	Körperemails Renaissance/Barock / Burgund, Niederlande, Deutschland
16.-17. Jh.	Entwicklung der Limoges-Technik (Graue-mails)
17.-18. Jh.	barocke Miniaturmalerei
1728	Fauchard: Emaillieren verschiedener Metall-

1750	zähne (Gold/silicatische Materialien) Battersea: 1. industrielle Schmuckemaillieren Anfang der technischen Emaillierung	1861	emailierfähiges Stahlblech (ständige Entwicklung) emailiertes Stahlblech Fraulautern (Saarland)	1990 nach 1990	Vermeidung toxischer und umweltfeindlicher Komponenten 2-Schicht/1-Brand-Technologie Entwicklung der Blechvorbehandlung für die Edeldstahlemaillierung
1761	Justi: Glasieren von Eisengefäßen (Haushaltsgegenstände)	1870 1873	Anwendung CoO u. NiO als Haftoxide Emaillierwerke in Westfalen, Rheinland, Rheinpfalz, Hessen, Erzgebirge		
1764	Eisenwerke Königsbronn (Württemberg), säurefester Glasüberzug/gusseiserne Geschirre	1890	Emailschilder England		
1782	Rinmann: Blechemaillierung	Ende 19. Jh.	Entwicklung nichttoxischer (PbO-freier) und chemisch resistenter Emails		
1785	Emaillieren gusseiserner Gegenstände, Lauchhammer Ende 18. Jh. Guillochierungstechnik, Fabergé	ab 20. Jh. 1930 1933 1934 1937/50 1942	Wissenschaftliche Bearbeitung von Emails emailierte Waggonen, Kühlwagen emailierte Dachplatten / USA Dietzel: Haftmechanismen emailierte Gebäudeverkleidungen / USA Heimsoeth: Titan-Weißemail		
moderne Entwicklungen					
1810	Blechemaillierung, Lauchhammer	nach 1945	Emaillieren von Aluminium, hochlegiertem Stahl, Titan		
1836	Emailgeschirr Thale				
1837	Emailgeschirr Lauter	1948	Zirkon-Weißemail (Pulverauftrag auf Guss-eisen, USA)		
1837	F. Erbe: Buch „Emaille“ systematische Arbeiten zur Entwicklung Pb-freier Emails Beginn der wissenschaftlichen Emailentwicklung	1950 1955 1960	industrielle Al-Emails Direktweißemails dekarbonisierte Stahlbleche für Weißemails (USA)		
1839	Th. Clark: Grund-/Deckemail emailierte gusseiserne Geschirre England / Böhmen	1970	Elektrostatischer und elektrophoretischer Email-Nassauftrag elektrostatischer Pulverauftrag		
1846	industrielle Blechformgebung für Geschirremails (Ziehpresse JAPY)	1972 nach 1970	glaskristalline Emails Verbesserung Auftrags- und Brenntechnologien,		
1850	Schamotte-Muffelöfen für Einbrennprozesse		kostengünstige Emailierverfahren		
1856/63	Stahlveredelung Bessemer/Siemens-Martin-Verfahren	nach 1980	Verbesserung der Emailleigenschaften unter		

Danksagung

Der Deutsche Email Verband dankt den Mitgliedern seines Technischen Ausschusses für die wertvollen Hinweise und Anregungen bei der Erstellung der Texte für dieses Buch.

Ein besonderer Dank geht posthum an Prof. Dr. Peter Hellmold, dem früheren wissenschaftlichen Leiter des Verbandes, der im Januar 2013 verstarb.

Literaturhinweise

Deutscher Email Verband e.V. (Hrsg.): Email – Mitteilungen des Deutschen Email Verbandes e.V., erscheint alle zwei Monate

Dietzel, A. H.: Emaillierung, Springer, Berlin-Heidelberg-New York, 1981

Hellmold, P.; Usakow, D. F.: Anorganische Korrosionsschutzschichten. Struktur und Eigenschaften, Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig-Stuttgart, 1992

Petzold, A.; Pöschmann, H.: Email und Emailliertechnik, Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig-Stuttgart, 1992

Warnke, H.: Die Elektrotauchemaillierung, Selbstverlag, Marienfeld, 2001

Pemco: Enamel Manual, Selbstverlag, Brugge, 2008

Müller, K.-P.: Praktische Oberflächentechnik, Vieweg, Braunschweig/Wiesbaden, 2003

Pagliuca, S.; Faust, W. D.: Porcelain (Vitreous) Enamels and Industrial Enamelling Processes, International Enamellers Institute, Mantova, 2011

Herausgeber

Deutscher Email Verband e.V.

An dem Heerwege 10

D - 58093 Hagen

Tel. 02331 / 788651

Fax 02331 / 22662

E-Mail: info@emailverband.de

Verlag

Informations- u. Bildungszentrum Email e.V.

An dem Heerwege 10

D - 58093 Hagen

Tel. 02331 / 788651

Fax 02331 / 22662

E-Mail: info@emailverband.de