

GEDANKEN ÜBER DIE DIN NORM 6370 -UNTERSUCHUNG DER VERSCHLEISSBESTÄNDIGKEIT

E.Barta , Lampart Vegyipari Gépgyár RT., Budapest, Ungarn

XVIII. Internationaler Kongress der Emailfachleute, 20-23. April 1998, Paris

Zusammenfassung

Wir untersuchen die Methode zur Prüfung der Verschleißbeständigkeit nach DIN-ISO 6370 vom Standpunkt der Vergleichbarkeit aus. Nach der Norm ist ein Vergleich nur bei Beschichtungen gleicher Dichte möglich. Wenn wir einen korrekten Vergleich durchführen möchten, müssen wir, bei Beschichtungen mit ungleicher Dichte, auch mit dem Volumenverlust während des Verschleißes rechnen. Es wurde untersucht, welche Möglichkeiten es diesbezüglich gibt.

Vorwort

Die Härte von Glasemails liegt allgemein zwischen 6-7 Mohs. Dieser Umstand stellt der Beschichtungen günstige Merkmale in der Verschleißbeständigkeit sicher.

Unter Verschleiß soll die Abnutzung der Oberflächen durch mechanische Inanspruchnahme verstanden werden, bei gleichzeitigem Materialabtrag. Die Verschleißbeständigkeit der Emailbeschichtungen gegenüber verschiedenen Partikel ist hauptsächlich von der Härte, Form, Korngrößenverteilung und Konzentration der Verschleißpartikel und auch von der Aufnahmeviskosität abhängig. Mit der Verschleißbeständigkeit soll die Widerstandsfähigkeit des Emails gegen mechanische Abnutzung bestimmt werden. Auf Grund der Untersuchungsangaben können Schlußfolgerungen auf die praktische Inanspruchnahme nur dann gezogen werden, wenn die Messung die Praxis reproduziert. Die Untersuchungen müßten im Interesse der Anwendbarkeit der Ergebnisse , unter aktuellen Bedingungen durchgeführt werden. Natürlich ist diese Anforderung schwer zu erfüllen, doch es sollte zumutbar sein, daß die nach der Norm ausgeführte Untersuchung ein konkretes Ergebnis leistet, und zur die Durchführung einer korrekter Messung anregt.

Die Untersuchung der Verschleißbeständigkeit ermöglicht den Vergleich der verschiedenen Emailbeschichtungen und stellt die Grundlage der Entwicklung von Produkten mit höheren Verschleißbeständigkeit dar.

In Folgenden möchte ich die Mittel der nach der Norm durchgeführten Verschleißbeständigkeitsuntersuchungen, die Art der Untersuchung und meine Erwägungen über die Methode der Auswertung, und die Vergleichbarkeit der Ergebnisse vorführen, und an einigen Demonstrationsversuchen die Veränderung der Verschleißbeständigkeitsrate vorstellen.

Definition des Verschleißes

Unter Verschleiß laut DIN 50 320, soll - im technischen Sinn - eine solche unerwünschte Änderung der Oberfläche von Gebrauchsgegenständen verstanden werden, welche durch Abtrennung kleiner Partikeln durch mechanische Einwirkung bewirkt wird.

Ein vorhandener mechanischer Verschleiß wird durch chemische oder elektrochemische Einwirkung noch verstärkt.

Prüfung auf Verschleißbeständigkeit

Die Verschleißbeständigkeitsprüfung ist in der DIN-ISO-norm 6370 festgelegt.

Kurzbeschreibung des Prüfverfahrens

Drei in gleicher Weise emaillierte Prüfkörper und drei Vergleichplatten aus Glas werden in die Prüfvorrichtung eingespannt und gleichzeitig jedoch voneinander getrennt, dreimal je dreißig Minuten lang dem abrasiven Angriff eines Gemisches von Elektrokorundteilchen, Stahlkugeln und Wasser ausgesetzt. Der relative Verschleißbetrag W_r ist das Ausmaß des Verschleißes, das aus dem arithmetischen Mittel des Massenverlust der drei Prüfkörper und der drei Vergleichplatten aus Glas berechnet wird.

Prüfgerät

Das Prüfgerät besteht aus folgenden Bestandteilen.

- Aufnahmetisch mit Getrieb (Abb.1)

Der Aufnahmetisch aus Leichtmetall von etwa 10 mm Dicke ist horizontal auf ein Exzentergetriebe so aufgesetzt, daß

während der Prüfung jeder Punkt des Aufnahmetisches einen waagrechten Kreis von $22 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$ Durchmesser beschreibt. Der Aufnahmetisch soll groß genug sein, daß darauf mindestens sechs Prüfkörper aufgespannt werden können. Die Drehfrequenz des Exzenters muß $300 \text{ 1/min} \pm 3 \text{ 1/min}$ betragen.

- **Prüfkörperhalterung (Abb.2)**
Zum Prüfgerät gehören mindestens sechs Prüfkörperhalterungen. Die Halter sind aus Gummi gefüttertes Leichtmetall gefertigt. Die mit Gummistopfen abschließbare obere Öffnung dient zum Einfüllen und Entleeren des Verschleißgemisches.
- **Stahlkugeln**
Die Kugeln müssen aus rostfreiem Stahl nach DIN 17 440, z.B. X 40 Cr 13 (Werkstoffnr. 1.4034) in gehärteter Ausführung hergestellt werden.
Notwendige Kugeln : 500 Kugeln mit 4 mm Durchmesser
 400 Kugeln mit 3 mm Durchmesser
 250 Kugeln mit 2 mm Durchmesser
- **Schleifmittel**
Als Schleifmittel dient Elektrokorund mit Korngröße P80.
- **Sonstiges:**
 - Waage mit mindestens 200 g Aufnahmekapazität und einer Genauigkeit von 0,2 mg
 - Exsikkator für Behandlung der Prüfkörper vor der Massenmessung
 - Trockenkammer, für Temperaturen bis mindestens 130°C
- **Prüfkörper**
Die Probenplatten sind auf entsprechenden Trägermetall nach DIN-ISO 2723 und 2724 vorzubereiten. Als Werkstoff der Proben dient 2 mm starkes emailfähiges Stahlblech.

Durchführung der Untersuchung

Die Untersuchung muß gleichzeitig auf drei Prüfkörper und drei Vergleichsplatten durchgeführt werden. Alle Prüfkörperhalterung müssen mit einer Verschleißcharge gefüllt und einem Stopfen verschlossen. Die Verschleißmittelcharge besteht aus 80 g Stahlkugeln mit 4 mm Durchmesser, 60 g Stahlkugeln mit 3 mm Durchmesser, 35 g Stahlkugeln mit 2 mm Durchmesser, $20 \text{ ml} \pm 2 \text{ ml}$ Wasser und $3 \text{ g} \pm 0,01 \text{ g}$ Schleifmittel.

Die Prüfkörperhalterungen werden auf dem Aufnahmetisch befestigt und die Prüfvorrichtung dreißig Minuten in Betrieb gesetzt. Anschließend sind die Prüfkörper sorgfältig unter fließendem Wasser abzuspülen und mit einer frischen Verschleißmittelcharge erneute in die Prüfvorrichtung einzubringen. Nach einer zweiten Prüfdauer von 30 Minuten werden die genannten Schritte wiederholt und das Verfahren ein drittes Mal durchgespielt. Dann werden die dreimal je dreißig Minuten dem Schleifmittel ausgesetzten Prüfkörper einer Bewertung unterzogen.

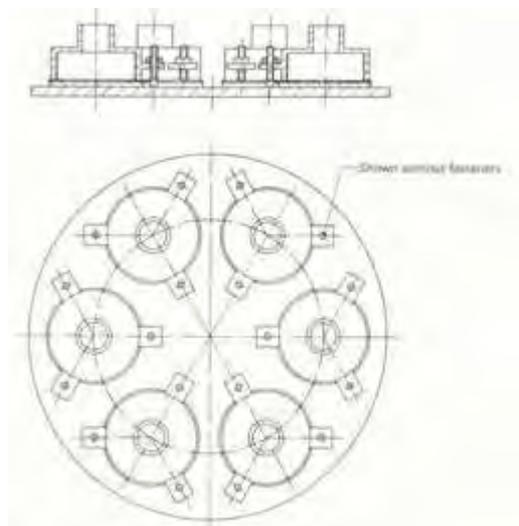


Abb.1: Schematische Darstellung der Anordnung von Proben im Verschleißprüfgerät

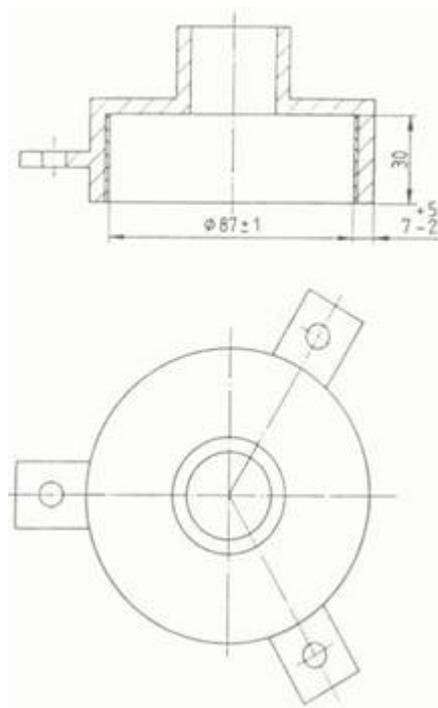


Abb.2: Probekörper

Auswertung

Der Massenverlust, Dm , muß für jede Prüfkörper und Vergleichplatte aus Glas festgestellt. Der relative Verschleißbetrag, W_r , wird mit folgender Gleichung berechnet (1)

$$W_r = \frac{Dm_{s1} + Dm_{s2} + Dm_{s3}}{Dm_{r1} + Dm_{r2} + Dm_{r3}} \quad (1)$$

wobei

- Dm_{s1} , Dm_{s2} , Dm_{s3} - Massenverlust der drei Geprüften Prüfkörper
- Dm_{r1} , Dm_{r2} , Dm_{r3} - Massenverlust der drei Geprüften Vergleichplatten aus Glas

Theorie der Auswertung und die Praxis

In den Beschriebenen haben wir gesehen, wie die Verschleißuntersuchungen nach DIN Norm abläuft, und wie die Meßergebnisse ausgewertet werden. Bei genauer Einhaltung der DIN Norm kommt eine praxisnahe Bestimmung leider nicht zustande, so hat die Untersuchung lediglich einen Vergleichscharakter. Bei der Ausarbeitung der Norm hat man das wahrscheinlich als Ziel gesetzt. Darauf weist die bei der Auswertung erhaltene Verhältniszahl W_r hin. Nach Überlegung wird es klar, daß diese das untersuchte Email auf irgendeinen Punkt der Zahlenskala stellt, und beurteilt, ob das gegebene Email besser, oder schlechter ist, als das Andere. Für den praktischen Fachmann kann diese Verhältniszahl keinen Anhaltspunkt für die Bildung einer zahlenmäßigen Vorstellung beschaffen, der auf die Verschleißbeständigkeit der Beschichtung als Hinweis dienen könnte.

Die Hersteller der emailierten Maschinen für die chemische Industrie, werden der Vergleich zum einer Vergleichplatte aus Glas nicht an, sondern gestalten die Zahlenmäßigkeit der Verschleißbeständigkeit in der Auswertung durch die Massenverlust, die auf Flächeneinheit, und während einer Zeiteinheit festzustellen ist, laut folgende:

$$v_a = Dm / (At) \quad (2)$$

wobei:

- Dm - Massenverlust (mg)
- A - angegriffene Fläche (cm²)
- t - Prüfzeit (Std.)

Die so erhaltene Werte sind zwar "handgreifliche" zahlenmäßige, doch können von denen mit der Realität parallele Folgerungen weiterhin nicht gezogen werden. Fürs Verschleißmedium geben sie einige Auskünfte über die Lebensdauer der Beschichtung. Auch hier, wie beim Vergleich nach der Originalnorm, kann der Vergleich, nur bei **Besichtungen mit gleicher Dichte**, angewendet werden.

Es stellt sich die Frage, ob von Sichtpunkt der Lebensdauer von der Beschichtung, die Verschleißbeständigkeit am besten durch die Massenverlust dargestellt werden kann. Vom meßtechnischen Standpunkt aus, ist diese Methode eine Lösung, die mit größter Sicherheit ausgeführt werden kann, doch die Messung kann, die während des Verschleißvorganges hervortretende Abnahme Schichtstärke nicht berechnen.

Die Dichte der Beschichtungen wird außer der Zusammensetzung der Emailfritte, durch die Mühlensätze, und die Blasenstruktur der Beschichtung beeinflußt. Bei Emailen der chemischen Industrie tritt das verstärkt zum Vorschein, da es die einzige Möglichkeit für die Verbesserung der mechanischen Eigenschaften darstellt. Somit können nicht alle Emailen, in ihrer Dichte, als gleich betrachtet werden.

Allgemein sprechen, wir bei Emailfritten von 2,5-2,6 g/cm³ bei eingebrannten Emailbeschichtungen 2,2-2,4 g/cm³ Dichte. Bei Emailen mit Tirkongehalt kann die Dichte bedeutend höher sein. In letzter Zeit wurde Zirkon häufig als Mühlensatz beigegeben oder in geschmolzener Form hinzugefügt, um die mechanischen und die wärmeophysischen Eigenschaften, sowie die chemische Beständigkeit zu erhöhen.

Wir haben die Veränderung der Dichte eines Emails "A" in Abhängigkeit vom Zirkongehalt untersucht. Wir haben Zirkonium als Mühlensatz beigegeben. Dann wurde aus dem Emailslicker eine Beschichtung hergestellt und die Dichte des Emails und das Volumengewicht der Beschichtung gemessen. Die Ergebnisse sind aus Tabelle 1 abzulesen:

Tabelle 1

	ZIRKONGEHALT (%)		
	0	15	30
Volumengewicht (g/cm³)	2,4	2,7	3,0
Dichte (g/cm³)	2,6	2,8	3,2

Aus der Tabelle geht hervor, daß das Volumengewicht und die Dichte mit steigendem Zirkongehalt zunehmen, wobei das Volumengewicht geringer als die Dichte ist.

Da die Dichte der Beschichtungen verschiedentlich sein kann, so kann es beim Vergleich nach DIN Norm vorkommen, daß nach Massenverlust als gleich beurteilte Email verschiedene Abnahmewerte in der Schichtstärke aufweisen. So ist es möglich, daß ein auf Grund der Massenverlust als besser qualifiziertes Email, auf Verschleißeinwirkung größere Schichtstärkerkenabnahme hat, als ein als schlechter eingestuftes Email.

Für den Anwender ist es nicht gleichgültig, wie lange es dauert, bis die Emailbeschichtung von Trägermetall abgerieben wird. Er hält es für wichtig, daß die Schichtstärkenänderung während des Verschleißvorganges womöglich am kleinsten ist.

Wenn wir einen korrekten Vergleich durchführen möchten, müssen wir, bei Beschichtungen mit ungleicher Dichte, auch mit dem Volumenverlust während des Verschleißes rechnen.

Das kann technisch entweder durch Messung von der Dichte und Berücksichtigung deren beim Berechnen, oder durch die Messung der Veränderung der Schichtdicke geschehen.

Es wurden Versuche in dieser Richtung unternommen.

Untersuchungen

In meinen Versuchen habe ich die Zeitabhängigkeit der Verschleißbeständigkeit auf den Massenverlust und Abnahme der Schichtdicke bezogen untersucht, sowie die Gestaltung der Verschleißbeständigkeitsrate in Zeitfunktion und in den einzelnen Messperioden. Die Untersuchungen wurde durch Anfrischen das Schleifmittel pro Periode und auch ohne Anfrischen durchgeführt. Ich habe die Zusammenhang zwischen der Verschleißbeständigkeit untersucht und der Dichte verschiedener Emailsorten untersucht.

Dichtemessung

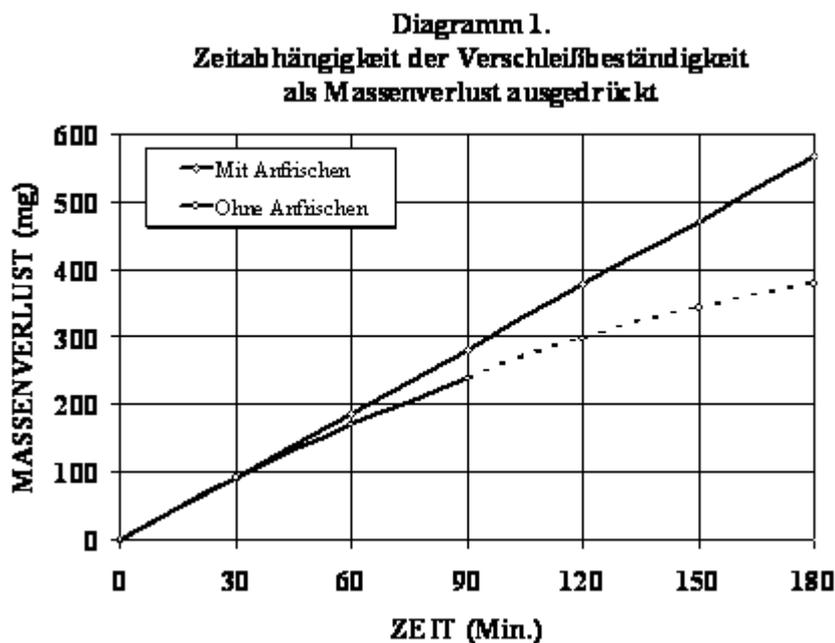
Es gibt zwei Arten von Dichte, die Dichte von Kompaktemail, die mit einem Pyknometer ermittelt werden kann, und die von der Emailzusammensetzung abhängt, und die Volumengewicht der Beschichtung, die zusätzlich auch von der Blasenstruktur der Beschichtung abhängt. Letztere kann mittels Dichtmessung der grundemailfreien Schicht mit einem Pyknometer bzw. mit einer hydrostatischen Waage ermittelt werden.

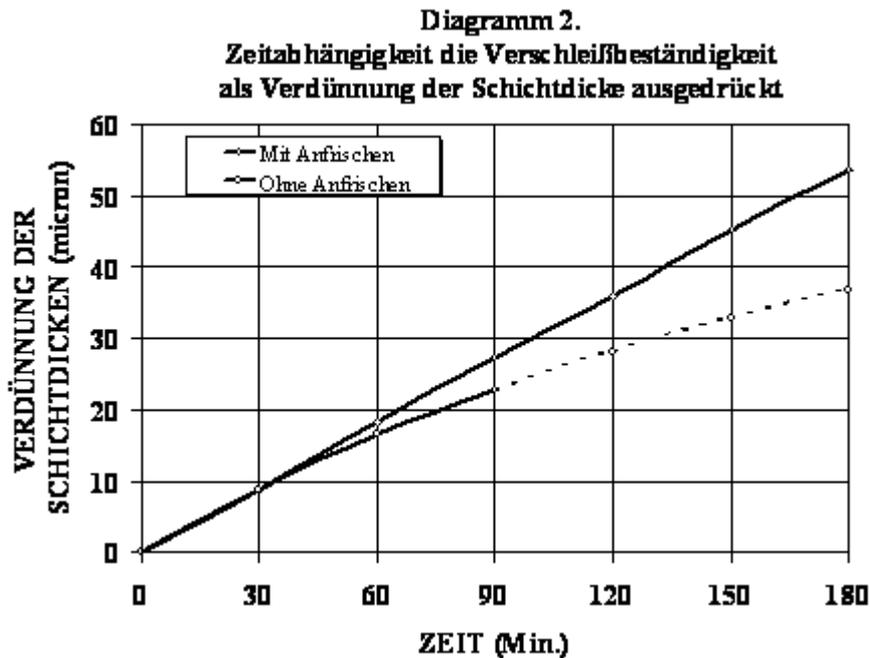
Messung der Schichtdicke

Die versleißbedingte Volumenänderung läßt sich einfach durch die Messung der Schichtdicke ermitteln. Die Verschleißbeständigkeit läßt sich durch die Veränderung der Schichtdicke ohne Massenwiegen mit der Hilfe der auf der Probeplatte ermittelten zahlreichen Messungen und deren statistischen Auswertungen feststellen. Für die Schichtdickenmessungen habe ich ein FISCHER-Deltascope MP3C und zur Datenverarbeitung FCC-100-Software herangezogen.

Die Zeitabhängigkeit der Verschleißbeständigkeit

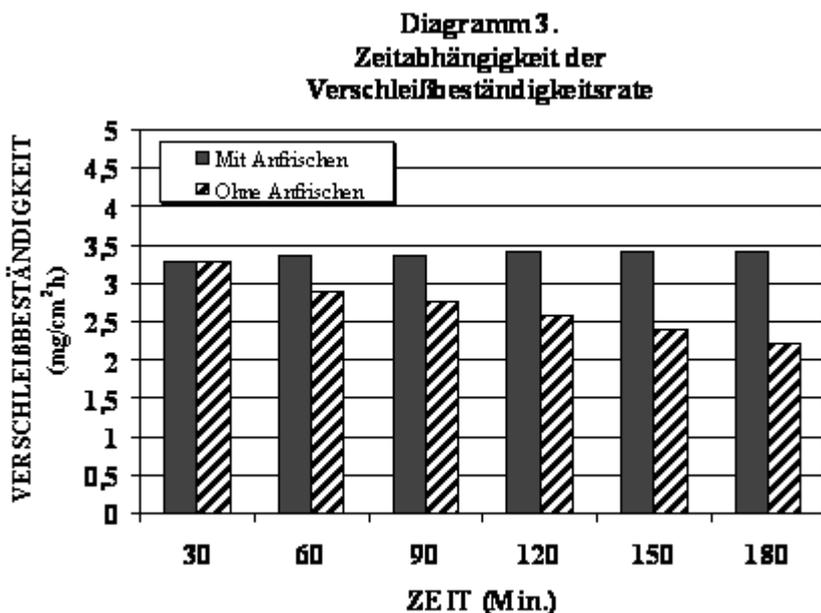
Die Untersuchung von Zeitabhängigkeit der Verschleißbeständigkeit wurde ohne, und mit Anfrischen des Schleifmittels durchgeführt. Unter Anfrischen des Schleifmittels ist Messung 30 Minuten Perioden zu verstehen, daß in der Norm festgelegt ist, mit in jeder Periode ausgewaschene und neu gefüllte Prüfkörperhälter. Unter Messung ohne Anfrischen des Schleifmittels, soll ein fortlaufende, mit einmal aufgefüllte Prüfkörperhälter durchgeführte Messung verstanden werden. Ich habe auch Messungen nach längeren Prüfzeiten vorgenommen. Die Ergebnisse gehen aus Diagramm 1 und 2 hervor:





Von den Ergebnissen kann festgestellt werden, daß der Massenverlust und die Verdünnung der Schichtdicke, welche während des Verschleißvorganges entstanden sind, praktisch mit dem Verlauf der Verschleißzeit linear anwächst. Es kann festgestellt werden, daß das Ausmaß des Verschleißes mit Anfrischen des Schleifmittels kraftvoller ist, als ohne Anfrischen. Mit Anfrischen des Schleifmittels versucht die Norm zur Praxis näherzukommen.

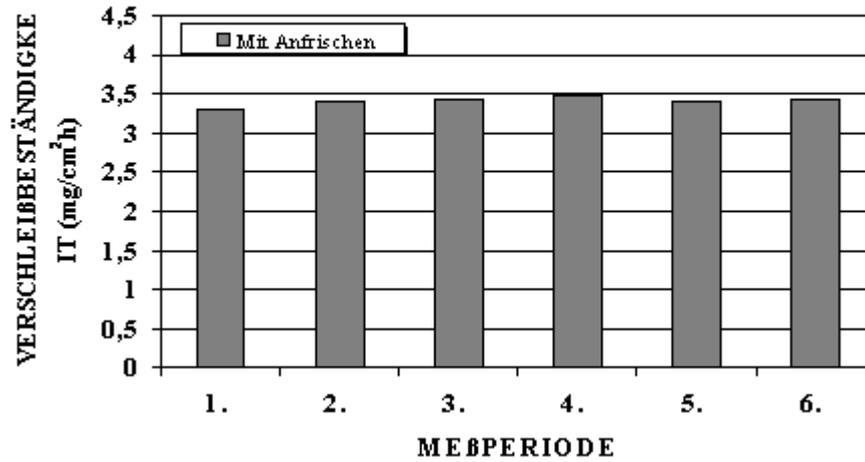
Die Zeitabhängigkeit der auf Grund des Massenverlustes berechnete Verschleißbeständigkeitsrate ist auf Diagramm 3 aufgeführt :



Es kann festgestellt werden, daß die Verschleißbeständigkeitsrate bei Anfrischen des Schleifmittels, praktisch konstanten Wert, ohne Anfrischen des Schleifmittels eine abfallende Tendenz zeigt. Daß heißt, daß wir vergleichbare Ergebnisse effektiv nur dann erhalten können, wenn wir die Vorschriften der Norm korrekt einhalten. Wenn wir das Schleifmittels nicht anfrischen, erhalten wir ein günstigeres Ergebnis, als die Realität.

Bei Anfrischen des Schleifmittels zeigt die Verschleißbeständigkeitsrate in den Meßperioden praktisch konstanten Wert (Diagramm 4).

Diagramm 4.
Gestaltung der Verschleißbeständigkeitsrate
in den Meßperioden



Die Gestaltung des Massenverlustes und der Schichtdickenverdünnung nach Meßperioden ist auf Diagramm 5.-6. vorgezeigt.

Diagramm 5.
Gestaltung des Massenverlustes
in den Meßperioden

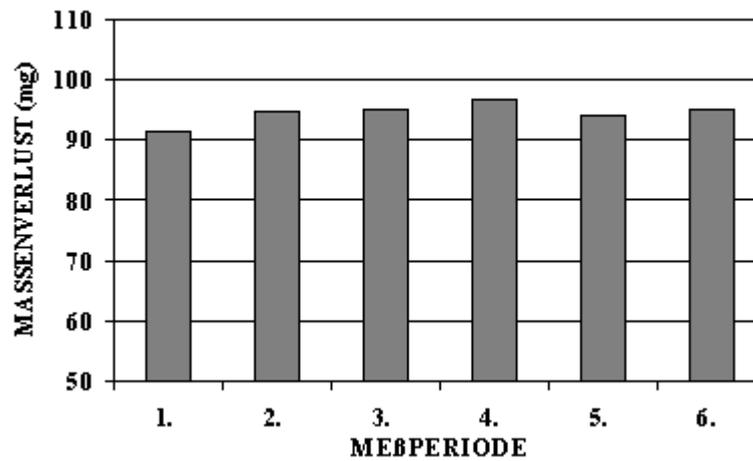
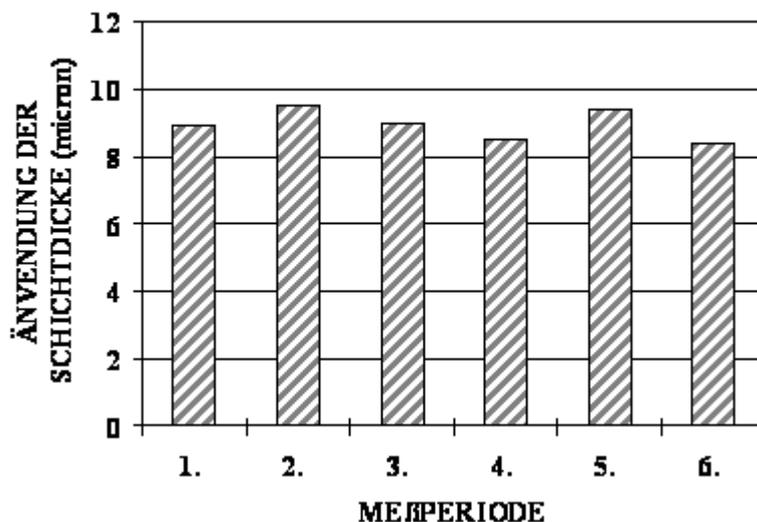


Diagramm 6.
Änderung der Schichtdicke
in den Meßperioden



Ich habe die Dichte und Verschleißbeständigkeit durch Ermittlung des Massenverlust und der Änderung von Schichtdicke bei zirkonhaltigem Email untersucht. Dem geprüften Email wurde 15 bzw. 30 Gewischprozent Zirkonium als Mühlenzusatz beigemischt. Die Ergebnisse sind aus Tabelle 2 abzulesen:

Tabelle 2.

		Zirkongehaltes Enamel "A" (%)		
		0	15	30
Dichte	(g/cm ³)	2,6	2,8	3,2
Volumengewicht	(g/cm ³)	2,4	2,7	3,0
Verschleißbeständigkeitals Massenverlust berechnet	(mg/cm ² h)	3,3	2,6	2,3
Verschleißbeständigkeitals Massenverlust berechnet mit Berücksichtigung der Volumengewicht	(mm/h)	13,6	9,6	7,6
Verschleißbeständigkeit mit Direktmessung der Schichtdicke	(mm/h)	17,3	12,6	10,4

Es kann behauptet werden, daß die Dichte und Verschleißbeständigkeit mit steigendem Zirkongehalt zunimmt. Es besteht ein leichter Unterschied zwischen den berechneten und den direkt gemessenen Ergebnissen.

Diagramm 7 zeigt in Meßperioden die gemessenen bzw. berechneten Schichtdickenwerte:

Diagramm 7.
Vergleich zwischen gemessener und berechneter Verschleißeständigkeit, als Schichtdicke ausgedrückt

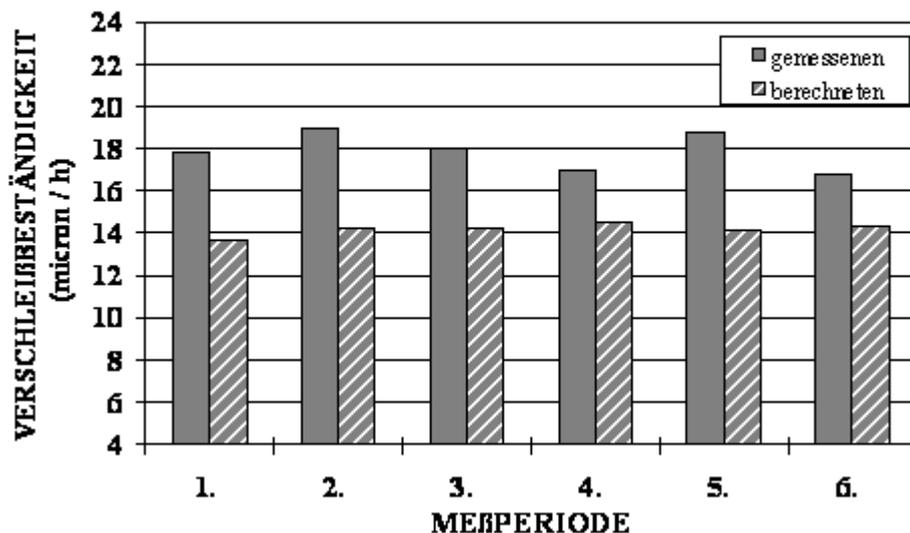
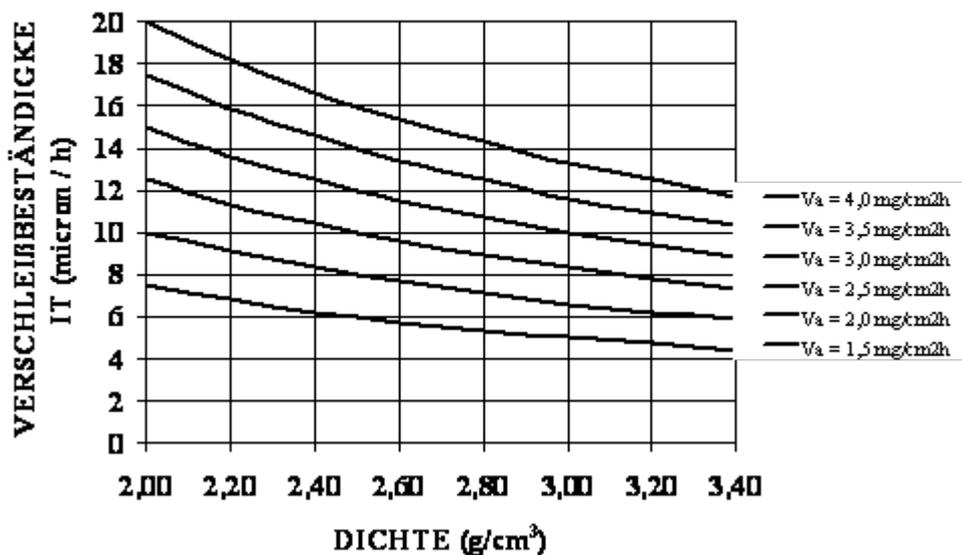


Diagramm 8. zeigt die Gestaltung der Verschleißbeständigkeitsrate mit Berücksichtigung der Dichte.

Diagramm 8.
Gestaltung der Verschleißbeständigkeit mit Berücksichtigung der Dichte



Es kann davon ausgegangen werden, daß bei Bewertung der Verschleißbeständigkeit einzelner Emailsarten ohne Berücksichtigung der Dichte falsche Schlüsse gezogen werden können.

Schlußfolgerungen

Durch die vorstehend erörterten Ergebnisse wird folgendes aufgezeigt:

- Glasemailsarten haben eine unterschiedliche Dichte je nach Zusammensetzung, Blasenstruktur und Mühlenzusätzen.
- Die Verschleißbeständigkeit verschiedener Emailsarten läßt sich nur mit Berücksichtigung der Dichte miteinander vergleichen.
- Die verschleißbedingte Massenverlust und Schichtdickenveränderung hat einen linearen Verlauf im Verhältnis zur Prüfzeit.

- Es besteht ein leichter Unterschied zwischen den berechneten Ergebnissen mit Berücksichtigung der Dichte und den Ergebnissen mit direkter Schichtdickenmessung.

Es gibt zwei Möglichkeiten zur Ermittlung der Verschleißbeständigkeit mit Berücksichtigung der Dicke:

- a) indirekt, mittels Ermittlung der Dichte
- b) direkt, mittels Messung der Schichtdicke

Damit lassen sich vergleichbare Ergebnisse bei Emailbeschichtungen unterschiedlicher Dichte erzielen.