

# Zur Strömungssituation beim Korrekturabdruck

Meiners, Hermann

First published in:

Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift, 31. Jg., S. 685 – 687, München 1976

Münstersches Informations- und Archivsystem multimedialer Inhalte (MIAMI)

URN: urn:nbn:de:hbz:6-83429679529

# Zur Strömungssituation beim Korrekturabdruck

Von H. Meiners, Münster\*

Die Berechnung des Strömungswiderstandes im Spalt zwischen koaxialen Zylindern liefert einen Zusammenhang zwischen Druck, Vorschubgeschwindigkeit des einen Zylinders und Spaltbreite. Die Anwendung dieser Beziehung auf die Situation des Korrekturabdruckes bestätigt auch unter dem Gesichtspunkt der Hydrodynamik die Richtigkeit der Forderung nach kurzzeitigem Druckaufwand bei der Zweitabformung.

Jede Abformung erfordert einen Kraftaufwand, der einerseits von der Viskosität des Abformmaterials und andererseits vom geometrisch bestimmten Strömungswiderstand, d. h. von der Abflußmöglichkeit der verdrängten Abformmasse abhängt. Der Strömungswiderstand zwischen parallelen Wänden wächst umgekehrt proportional zur dritten Potenz des lichten Abstandes  $a$  der Wände. Je enger bei einer Abformung der Raum zwischen abzuformendem Kiefer und Löffelwand, desto größer ist der Kraftaufwand zur Plazierung des Löffels. Besonders gravierend wird der Effekt bei Verwendung von individuellen Löffeln. Der Extremfall ist gegeben beim *Korrekturabdruck*.

Durch die manuelle Kräfteinwirkung auf die Löffelunterfläche entsteht in der Abformmasse (Flüssigkeit) ein ortsabhängiger Druck, der ein Fließen der Masse in Richtung des Druckgefälles verursacht. Die Fließrate  $Q$ , also die pro Zeiteinheit durch einen Querschnitt tretende Menge, ist dem Druckgefälle proportional. Es ist somit sinnvoll, anstelle der einwirkenden Kräfte im folgenden Werte für den erzeugten Druck anzugeben.

## Die Berechnung des erforderlichen Druckes

Zur Begrenzung des mathematischen Aufwandes soll die Situation des Korrekturabdruckes zunächst simuliert werden durch das koaxiale Eindringen eines zylindrischen Kolbens mit der

Höhe  $h$  und dem Radius  $r$  (Stumpf) in einen Hohlzylinder mit dem Radius  $r + a$  (Negativ im Erstabdruck), so daß zwischen den Wandungen ein Ringspalt der Breite  $a$  vorhanden ist (Abb. 1).

Beim Vordringen des Kolbens mit der Geschwindigkeit  $v_z$  in den mit einer Flüssigkeit gefüllten, einseitig geschlossenen Zylinder wird pro Zeiteinheit das Volumen

$$Q = \pi r^2 \cdot v_z \quad (1)$$

verdrängt. Die gleiche Menge pro Zeiteinheit muß durch den Ringspalt abfließen. Sie berechnet sich als Produkt aus Spaltquerschnitt und mittlerer Strömungsgeschwindigkeit  $\bar{v}_m$  im Spalt. Unter der Voraussetzung, daß die Spaltbreite  $a$  klein ist gegen den Kolbenradius  $r$ , gilt:

$$Q = 2 \pi r a \cdot \bar{v}_m \quad (2)$$

Zur Überwindung des Strömungswiderstandes ist eine Druckdifferenz  $p_2 - p_1$  zwischen Eintritts- und Austrittsseite des Abflußspaltes erforderlich (Abb. 1). Der Vorschub des Kolbens ist somit nur mit einem Kraftaufwand (Abformkraft) möglich, der im geschlossenen Teil des Zylinders den Überdruck  $P$  (Stempeldruck des Kolbens, allgemein die manuelle Kraft auf den Löffelboden bezogen auf die in die Kaufläche projizierte Oberfläche des abzuformenden Kieferbereiches) gegenüber Atmosphärendruck  $p_1$  an der offenen Seite erzeugt. Für das Druckgefälle im durchströmten Spalt zwischen koaxialen Zylinderwandungen gilt [1], wieder unter der Voraussetzung, daß  $a$  klein ist gegen  $r$ :

$$\frac{p_2 - p_1}{h} = \frac{6 Q \eta}{r a^3} \quad (3)$$

wobei  $\eta$  die Viskosität der Flüssigkeit ist. Der Einfluß der Schwerkraft ist hierbei vernachlässigt. Gleichung 3 gilt für zueinander ruhende Wandungen. Wird der Kolben der strömenden Flüssigkeit entgegenbewegt,

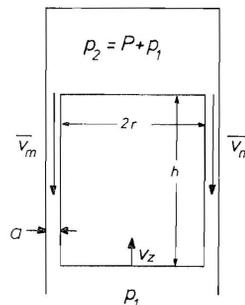


Abb. 1. Kolben und Zylinder in koaxialer Anordnung.

\* Prothetische Abteilung der Poliklinik und Klinik für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten der Universität Münster (Robert-Koch-Straße 27a)

so ergibt sich die in Abb. 2 angedeutete Veränderung des Strömungsprofils im Spalt. Diese Veränderung ist jedoch klein, wenn  $v_z$  klein ist gegen die mittlere Strömungsgeschwindigkeit  $\bar{v}_m$  der Flüssigkeit im Spalt; diese Bedingung ist erfüllt, wenn  $a$  klein ist gegen  $r$ . Einsetzen von Gleichung 1 in Gleichung 3 liefert:

$$p_2 - p_1 = P = \frac{6 r \eta h}{a^3} \cdot v_z \quad (4)$$

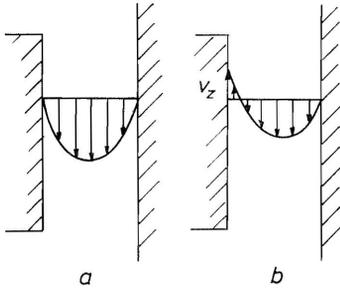


Abb. 2. Strömungsprofil zwischen zueinander ruhenden (a) und gegeneinander bewegten Wänden (b).

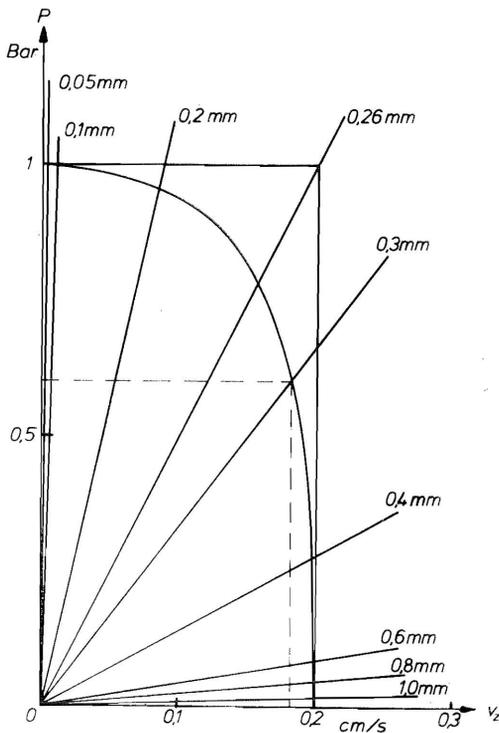


Abb. 3. Abhängigkeit des Stempeldruckes  $P$  von der Vorschubgeschwindigkeit  $v_z$  für verschiedene Spaltbreiten  $a$ .

Mit Hilfe dieser Gleichung lassen sich die Bedingungen bei der Abdrucknahme, speziell die des Korrekturabdruckes abschätzen. Dazu ist in Abb. 3 unter Benutzung der Werte  $\eta = 10 \text{ Pa} \cdot \text{sec}$  (= 100 Poise, dünnfließendes Abformmaterial),  $r = 0,3 \text{ cm}$  und  $h = 0,5 \text{ cm}$  (Phantomstumpf) der erforderliche Stempeldruck  $P$  in Abhängigkeit von der Vorschubgeschwindigkeit  $v_z$  für verschiedene Spaltweiten  $a$  aufgetragen. Mit abnehmender Spaltweite verlaufen die durch Gleichung 4 gegebenen Geraden außerordentlich steil.

In der Literatur finden sich nur wenige quantitative Angaben über Abformdrucke [3] und Vorschubgeschwindigkeiten des Löffels [4, 5]. Nimmt man als realistische Maximalwerte 1 Bar (ca. 1 kp/cm<sup>2</sup>) bzw. 0,2 cm/sec an, so liegen alle möglichen Wertepaare  $P/v_z$  innerhalb des durch diese Maximalwerte gekennzeichneten Rechteckes in Abb. 3. Die Koordinaten eines jeden Punktes liefern Geschwindigkeit und Druck, der Anstieg der durch den betreffenden Punkt zum Koordinatenursprung verlaufenden Geraden ist ein Maß für die Spaltbreite  $a$ . Dieser Anstieg ist zusätzlich abhängig von den Abmessungen des Stumpfes und der Viskosität der Abformmasse (vgl. G. 4).

### Das Ausfließen dünner Schichten

Bei der Abformung von konischen Zahnstümpfen ist zu beachten, daß anders als beim Vorschub des zylindrischen Kolbens das Vordringen des Konus in das ebenfalls konische Abformlumen des Erstabdruckes die Breite  $a$  des Abflußspaltes zunehmend verkleinert wird (Abb. 4). Zur Auf-

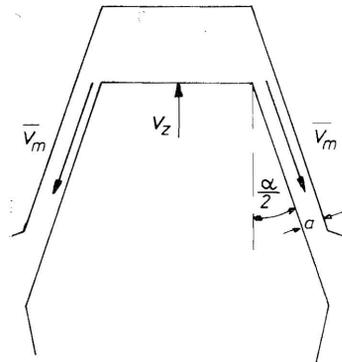


Abb. 4. Beim Vorschub eines konischen Stumpfes in ein entsprechendes Lumen resultiert eine Spaltverengung.

rechterhaltung einer konstanten Vorschubgeschwindigkeit steigt dann der erforderliche Druck sehr schnell an. Für kleine Präparationswinkel läßt sich Gl. 4 in guter Näherung auch auf dieses Problem anwenden. Eine Extrapolation in Abb. 3 ergibt dann, daß ein Druck von schließlich 140 Bar aufzubringen ist, wenn eine Vorschubgeschwindigkeit  $v_z = 0,2 \text{ cm/sec}$  bis zum Erreichen einer Spaltbreite von  $50 \mu\text{m}$  beibehalten werden soll. Selbstverständlich werden Drucke dieser Größenordnung bei der Abformung im Munde nicht erreicht. Daß dennoch sehr dünne Schichten ausfließen liegt daran, daß mit zunehmender Spaltverengung nicht nur der Druck steigt, sondern auch die Vorschubgeschwindigkeit abnimmt, wobei sich das Wertepaar Druck/Geschwindigkeit jeweils der erreichten Spaltbreite anpaßt. Messungen beim Korrekturabdruck [3] zeigen, daß der Druck während der beiden ersten Sekunden der Abformung praktisch linear ansteigt. Das bedeutet, daß der Löffel zunächst mit annähernd konstanter Geschwindigkeit appliziert und erst bei höheren Druckwerten deutlich abgebremst wird. Dieser Verlauf ist willkürlich durch die Kurve in Abb. 3 angedeutet. Ihr Schnittpunkt mit der Geraden „ $0,3 \text{ mm}$ “ besagt dann, daß mit Erreichen der Spaltbreite  $300 \mu\text{m}$  die Vorschubgeschwindigkeit  $v_z$  auf  $0,18 \text{ cm/sec}$  abgefallen und der Druck  $P$  auf  $0,6 \text{ Bar}$  gestiegen ist.

Daß beim Korrekturabdruck nicht beliebig dünne Schichten des Zweitmaterials ausfließen liegt daran, daß einmal auch die Schichtdicke zwischen Stirnfläche des Stumpfes und Lumenboden abnimmt, so daß hier ebenfalls nennenswerte Fließwiderstände mit entsprechendem Druckgefälle in Strömungsrichtung auftreten. Die Folge ist, daß der die Strömung im Spalt verursachende Überdruck am Spalteingang abnimmt. Zum anderen werden bei sehr kleinen Vorschubgeschwindigkeiten selbst für kleine Wege die zugehörigen Zeiten groß. Die Viskosität der Abformmasse nimmt aufgrund der Abbindereaktionen im Laufe der Zeit zu, so daß auch aus diesem Grund ein weiteres Fließen zunehmend erschwert und schließlich unmöglich wird.

Die aufgezeigten Zusammenhänge lassen erkennen, daß die manuell mögliche Druckanwendung beim Korrekturabdruck schon nach wenigen Sekunden praktisch keinen Einfluß mehr hat auf die Schichtdicke des dünnfließenden Abformmaterials. Trotz anhaltenden Druckes kommt der Löffelvorschub zum Stillstand und damit auch jegliches Fließen im Abformmaterial. Anhaltender Druck über die erforderliche Applikationszeit hinaus fördert somit nicht die Detailwiedergabe im korrigierten Abdrucknegativ. Da andererseits mechanische Spannungen im Erstabdruck während der Abbindephase des Zweitmaterials die Abformgenauigkeit beeinträchtigen, sollte die *Zeitdauer* des angewandten Druckes möglichst gering sein. Je länger und stärker die Druckeinwirkung, desto größer die Wahrscheinlichkeit, daß diese durch die druckbedingte Verlagerung des Erstabdruckes gegen den Kiefer provozierten Ungenauigkeiten auf Grund der fortschreitenden Verfestigung des Zweitmaterials fixiert werden. Es sei noch erwähnt, daß beim *Einzementieren* von Kronen die gleiche hydrodynamische Situation gegeben ist wie beim Korrekturabdruck. Auch hier zeigt sich, daß langanhaltender Druck die Dicke der Zementschicht praktisch nicht mehr beeinflußt [2]. Allerdings ist bei Zementschichten eine Mindestdicke durch die Körnigkeit des Materials gegeben.

### Schrifttum

1. Berker, R.: Intégration des équations du mouvement d'un fluide visqueux incompressible. In Flügge, S.: Handbuch der Physik Bd. VIII/2 Springer-Verlag, Berlin/Göttingen/Heidelberg 1963.
2. Dreyer-Jørgensen, K.: Factors affecting the film thickness of zinc phosphate cements. Acta Odontol. Scand. 18, 479 (1960).
3. Eichner, K.: Abdruck oder Abformen von präparierten Zähnen. Dtsch. zahnärztl. Z. 27, 589 (1972).
4. Finger, W., und Lockowandt, P.: Abform- und Modellmaterialien, eine funktionelle Einheit. Dtsch. zahnärztl. Z. 27, 620 (1972).
5. Schwickerath, H.: Zur Prüfung der Form- und Wiedergabegenauigkeit von Abformmaterialien. Dtsch. zahnärztl. Z. 27, 478 (1972).

Anschrift des Verfassers:

Priv.-Doz. Dr. rer. nat. Hermann Meiners,  
Robert-Koch-Straße 27a, 4400 Münster