

Aus dem Pathologischen Institut (Direktor: Prof. Dr. J. LINZBACH) und dem Chemischen Institut (Direktor: Prof. Dr. K. DIMROTH) der Universität Marburg a. d. Lahn

## Über Oberflächenmessung an biologisch-anatomischen Objekten durch Substanzablösung von ihren Gußmodellen

Von

ERNST HENSCHEL und HEINZ BALLI

Mit 2 Textabbildungen

(Eingegangen am 28. September 1959)

Die gebräuchlichen Methoden zur Messung gekrümmter makroskopischer Oberflächen biologischer Objekte sind sehr unvollkommen. Hierzu werden die mechanischen oder optischen Eigenschaften der Meßobjekte benutzt. Nur D'ARSONVAL hat nach Angaben von BIASTOCH eine andere physikalische Eigenschaft, nämlich die elektrische Kapazität der Oberflächen, zu ihrer Messung verwendet. In dieser Arbeit soll gezeigt werden, daß man die Eigenschaft von Oberflächen, Lösungsort zu sein, für ihre exakte Messung verwenden kann.

### Theoretische Voraussetzungen

$\Delta F$  sei ein Element der Grenzfläche zwischen einem festen löslichen Körper und einem flüssigen Lösungsmittel. In kurzen zeitlichen Abständen treffen Teilchen des Lösungsmittels auf, wobei sie Substanz von der Oberfläche ablösen und wobei eventuell ein lösliches Reaktionsprodukt entstehen mag. Die von  $\Delta F$  abgelöste Substanzmenge  $\Delta M$  ist abhängig von Menge und Geschwindigkeit der auftreffenden Lösungsmittelteilchen, also von der Lösungsmittelkonzentration  $C_1$ , der Temperatur  $T$  und ferner von der meßtechnisch genutzten Zeitspanne  $t$ . An der Grenzfläche wird sich eine Diffusionsschicht bilden, deren Dicke  $D$  von der Umwälzung des Lösungsmittels (Rührung) abhängig ist und in der sich gelöste Substanz bzw. Reaktionsprodukt  $C_r$  anreichert, während dort  $C_1$  abnimmt.  $\frac{\Delta M}{\Delta F}$  stellt sich somit als eine Funktion  $f$  der genannten Veränderlichen dar:

$$\Delta M = f(C_1, C_r, D, T, t) \cdot \Delta F. \quad (1)$$

Für den Fall, daß  $C_1$ ,  $C_r$ ,  $D$ ,  $T$  und  $t$  als konstant angenommen werden dürfen, wäre dann die vom ganzen Körper abgelöste Substanzmenge  $M$  nur noch von der Größe der Grenzfläche  $F$  und von Konstanten abhängig:

$$M = K \cdot F. \quad (2)$$

Die Bestimmung von  $K$  nach  $K = \frac{M_0}{F_0}$  kann durch Messung der von einer mitzuführenden Standardoberfläche  $F_0$  abgelösten Substanzmenge  $M_0$  erfolgen. Für die Oberfläche  $F$  eines Meßobjektes folgt daraus

$$F = \frac{M \cdot F_0}{M_0}. \quad (3)$$

In der Zeit  $t$  wird von jedem  $\Delta F$  eine dünne Schicht der Stärke  $d$  abgelöst. Dabei ist  $d$  überall, wo der Durchmesser des Meßobjektes  $> 2d$  ist, von diesem Durchmesser unabhängig. Daher bleiben im allgemeinen Falle die geometrischen Verhältnisse des Meßobjektes nicht erhalten. Man muß  $M$  so klein wählen, daß die mit der Volumenabnahme verbundene Änderung der Oberfläche und der geometrischen Proportionen vernachlässigt werden darf.

Diese allgemeine Betrachtung läßt dem Messenden die Wahl der Materialien (thermoplastische Substanzen, kalthärtende Stoffe, Metalle), der Bestimmungsmethode der abgelösten Substanzmenge bzw. des Reaktionsproduktes (Wägung,

Colorimetrie, Titrimetrie) und die des technischen Vorgehens. Man kann die allgemeine Methode den speziellen Verhältnissen anpassen, wozu Vorversuche nötig sind.

### Beschreibung der Methode an einem Blei-Salpetersäure-System

Bei orientierenden Vorversuchen mit Teilstücken eines Bleirohres stellte sich heraus, daß bei Oberflächen über  $5 \text{ cm}^2$ , Temperaturen um  $30^\circ \text{C}$ , Lösungsmittelkonzentrationen um  $3n\text{-HNO}_3$  und Ätzzeiten um 15 min wägbare Gewichtsverluste der Rohrstücke auftraten, die der Rohrstücklänge angenähert proportional waren. Die Versuchsanordnung ist in Abb. 1 skizziert.

Für feinere Untersuchungen wurden aus eingeschmolzenen Bleirohrabfällen gegossene Kegelstümpfe verwendet. Die Gewichtsverluste identischer Kegelstümpfe, die im gleichen

Tabelle. Im gleichen Arbeitsgang geätzte Kegelstümpfe

	a Gewichts- verlust mg	b an linearen Maßen errech- nete Ober- flächen ( $\text{cm}^2$ )	c nach Formel 3 berechnete Oberfläche $\text{cm}^2$	b—c in % von b
1. Nicht angesägt (Standard) . . . .	660	21,2	—	—
2. Angesägt, Schnitt tangential zum Strom liegend . . . . .	780	25,2	25,0	—0,8
3. Angesägt, Schnitt senkrecht gegen Strom liegend . . . . .	850	27,4	27,3	—0,35

Arbeitsgang geätzt wurden, differierten um maximal 3% des mittleren Gewichtsverlustes untereinander. Weitere Kegelstümpfe wurden mit 2 mm dicken Sägeschnitten versehen. Ein wägbarer Einfluß ihrer Richtung und Lage zum Lösungsmittelstrom ließ sich nicht

feststellen. Die Vermehrung des Gewichtsverlustes angesägter Kegelstümpfe entsprach ihrer errechneten Oberflächenvergrößerung (Tabelle). Als Standardoberflächen wurden Kegelstümpfe verwendet, die in derselben Form gegossen worden waren. Die Bedingungen wurden so gewählt, daß der Gewichtsverlust pro  $\text{cm}^2$  bei 30 mg lag, was unter den gegebenen geometrischen Verhältnissen einer Volumenänderung von etwa 1% entspricht.

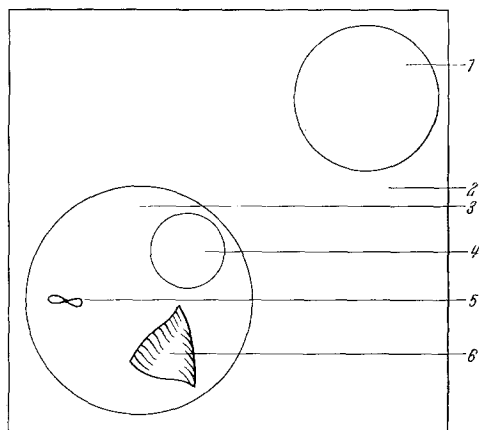


Abb. 1. Versuchsanordnung: 1 Einhängethermostat, 2 Thermostatenbad, 3 Säurebad, 4 Vergleichskörper (Standardoberfläche), 5 Rührung, 6 Prüfkörper (Gußmodell)

### Ein Anwendungsbeispiel

Die äußere Oberfläche einiger Lungenlappen von Meerschweinchen wurde wie folgt gemessen: dentaltechnischem Vorgehen entsprechend wurden Formen hergestellt (Einbettmasse „Durotherm“-Bayer), wobei die Lungenlappen meist in toto erhalten werden konnten.

Die Formen wurden mit der auch für die Standardoberfläche benützten Bleicharge ausgegossen. Nach Entfernung des den Gußkanälen entsprechenden Überschusses wurde ein dünnes Bohrloch (zur späteren Aufnahme eines Drahtes aus Polyvinylchlorid), an dem die Gußstücke im Säurebad hingen) angebracht. Danach Entfettung der Oberfläche, kurze Vorätzung und Wägung. Die Lungenmodelle wurden dann zusammen mit den ebenso vorbehan-

delten Standardoberflächen für etwa 15 min in der Apparatur eingebracht. Wegen der nicht-löslichen Verunreinigungen der benützten Bleicharge erwies es sich als notwendig, Probe- und Standardkörper nach dem Säurebad und anschließenden Wässern mit weicher Bürste vorsichtig zu reinigen. Anschließend Trocknen und Endwägung.

Die derartig bestimmten Oberflächen sind in Abb. 2. gegen das Lungenvolumen aufgetragen. Es handelt sich um rechte Unterlappen erwachsener Tiere, die in verschiedenen Füllungszuständen (Gelatinefüllung bzw. Kochsalzfüllung mit nachträglicher Gelatinedurchtränkung) fixiert waren. Bei formkonstanter Volu-

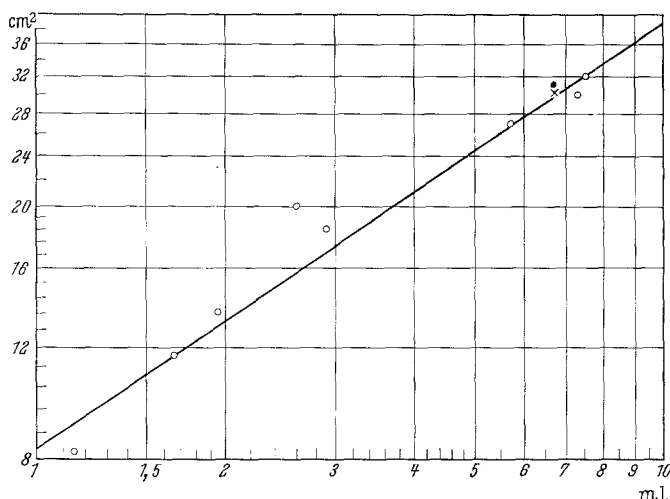


Abb. 2. Relation zwischen Volumen und äußerer Oberfläche von Unterlappen rechter Meerschweinchenlungen. Ordinate: nach Formel 3 bestimmte Oberfläche in  $\text{cm}^2$ . Abszisse: Lappenvolumen in  $\text{ml} = \left( \frac{\text{Gußstückgewicht}}{\text{Bleidichte}} \right)$ . Der Wert  $\times$  wurde mit einer anderen Oberflächenmeßmethode gewonnen. Zum Vergleich auf derselben Abszisse der durch Substanzablösung vom Gußmodell gewonnene Wert  $\bullet$  vom gleichen Lungenlappen. Beide Werte differieren um etwa 3 % ihres Mittelwertes voneinander

mendehnung der Lappen sollten ihre äußeren Oberflächen mit der  $\frac{2}{3}$ -Potenz des Volumens zunehmen. Die eingezeichnete Gerade, die unter einem Winkel von  $\alpha = 33,8^\circ$  ( $\text{tg } \alpha = \frac{2}{3} = 0,67$ ) die Abszisse des doppelt logarithmischen Rasters schneidet, entspricht einer Vermehrung der Ordinaten mit der  $\frac{2}{3}$ -Potenz der Abszissen. Die eingetragenen Meßwerte streuen um diese Gerade. Die Streuung ist durch individuelle Formunterschiede der Lungenlappen und durch den Meßfehler bedingt. Es ist wichtig, die äußere Oberfläche von Lungenlappen zu kennen, um z. B. die an der visceralen Pleura angreifenden Kräfte oder die Verformung der Pleuradeckzellen zu studieren.

### Diskussion

Die praktische Verwendbarkeit des Systems Blei/Salpetersäure ist eng begrenzt, nicht nur, weil die Bleischmelze zu warm ist, um direkt auf biologisch-anatomische Objekte aufgebracht werden zu können. Es ist denkbar, daß andere Systeme — etwa Gießharze enthaltende — mehrere Arbeitsgänge ersparen und ein größeres Anwendungsgebiet erschließen. Mit Vorteil wird man das Prinzip unseres

Verfahrens in vielen Fällen anwenden können, in denen bisher eine der im folgenden erläuterten Pflastermethoden benützt wurde.

Die Pflastermethoden arbeiten mit einer Schicht, etwa Watte-Celloidin (PFUHL), Cellophanfolie (HORT), Subitogen 2 H (RUFER), die aufgebracht, nach Verfestigung abgelöst, zerkleinert, ausgebreitet und dann (Polarplanimeter, Millimeterpapier oder Papierwägung) ausgemessen wird. Andere Verfahren unterteilen die Oberfläche in gleich breite Streifen, deren Gesamtlänge mal Streifenbreite die Oberfläche ergibt. Hierfür sind mechanische Hilfsmittel konstruiert worden [eine Welle mit endständigen Rädern (BORDIER) und ein webrahmenähnliches Instrument (SMITH und HOLCOMB)]. Konkave Flächen sind durch Pflaster- und Streifenmethoden meist nicht direkt, sondern nur am konvexen Abdruck meßbar. Alle Streifen- und Pflastermethoden vernachlässigen die feinen Oberflächenstrukturen wie Falten, Grate und Runzeln. Über ihre Genauigkeit ist fast nichts bekannt.

Für mikroskopische Oberflächenmessung gibt es zwei brauchbare Verfahren, die auf derselben mathematischen Grundlage beruhen (ROGERS, HENNIG). Sie sind, sofern das Meßobjekt in viele planparallele Scheiben aufgeschnitten werden kann und nicht zu groß ist, auch für die Messung äußerer Oberflächen verwendbar. Wo nicht, könnte man versuchen, an Stelle materieller Scheiben, deren Schatten bzw. Schichtumrisse zu verwenden. Derartige Abbilder sind prinzipiell ohne Zerschneiden des Meßobjektes herzustellen (Röntgentomogramme), jedoch schwerlich in der nötigen Schärfe. Bei der Oberflächenmessung von Körpern, deren Oberfläche an keiner Stelle konkav ist, kommt man mit mehreren Orthogonalprojektionen von diesen Körpern aus (HENNIG).

Gleichzeitig mit den beschriebenen Experimenten am Blei/Salpetersäuresystem wurde auch die Eigenschaft von Oberflächen, Querschnitt eines Wärmestromes zu sein, auf meßtechnische Brauchbarkeit untersucht. Diese Untersuchungen führten zur Entwicklung eines weiteren Verfahrens, mit dem äußere Oberflächen größerer Organe sehr rasch und bequem gemessen werden können. An Hand einer größeren Meßreihe soll bald darüber berichtet werden.

### Zusammenfassung

Zur Oberflächenmessung anatomisch-biologischer Objekte ist die Eigenschaft von Oberflächen, Substanz in ein Lösungsmittel abzugeben, ausnutzbar. Als Beispiel wurden Messungen der äußeren Oberfläche von Lungenlappen (Meerschweinchen) mit einem Blei-Salpetersäuresystem beschrieben.

### Summary

For the measurement of surface areas of anatomical structures in biology the property of surfaces to give off substances into a solution can be utilized. As an example of this technic, lead castings were made of guinea pig lungs; with a lead-nitric acid system the outer surface of the castings was measured.

### Literatur

BIASTOCH, H.: Körperoberflächenmessung an Mädchen. Med. Diss. Greifswald 1928. — BORDIER: Zit. nach BIASTOCH. — D'ARSONVAL: Zit nach BIASTOCH. — HENNIG, A.: Bestimmung der Oberfläche beliebig geformter Körper. Mikroskopie 11, 1 (1956). —

HORT, W.: Morphologische und mikrometrische Untersuchungen an totenstarren und dilatierten, lebensfrischen und postmortal veränderten Herzen. Habil.-Schr. Marburg 1959. — PFUHL, W.: Die Oberflächengröße von Lunge und Herz und die im Brustkorb wirkenden elastischen Kräfte. Z. Anat. Entwickl.-Gesch. **89**, 387 (1929). — ROGERS, C. A.: Brief von ROGERS an SHORT mit Ableitung der Formel  $S = \frac{2nV}{L}$  abgedruckt in: SHORT, R. H. D., Alveolar epithelium in relation to growth of the lung. Phil. Trans. B **235**, 35 (1950). — RUFER, H. R.: Die Thoraxinnenmaße und die Zwerchfellgröße bei der Albinoratte. Gegenbaurs morph. Jb. **99**, 317 (1958). — SMITH, D. R., and G. R. HOLCOMB: Articular surface interrelationships in finger joints. Acta anat. (Basel) **32**, 217 (1958).

Dr. med. E. HENSCHEL, Pathol. Inst. d. Univ. Marburg a. d. Lahn  
Robert-Koch-Straße 5

Dr. phil. H. BALLI, Chemisches Inst. d. Univ. Marburg a. d. Lahn  
Bahnhofstr. 7