

Prophylaxe und Werkstoffkunde

Meiners, Hermann

First published in:

Das Deutsche Zahnärzteblatt, 94. Jg., Nr. 10, S. 792 – 798, Heidelberg 1985

Münstersches Informations- und Archivsystem multimedialer Inhalte (MIAMI)

URN: urn:nbn:de:hbz:6-63429642486

Aus der Poliklinik und Klinik für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster, Abteilung für Zahnärztliche Werkstoffkunde

Prophylaxe und Werkstoffkunde*

H. Meiners, Münster

Neben dem angestrebten Zweck verursacht Zahnersatz auch überflüssige, oft schädliche Wirkungen. Sofern sich ein Schaden als material- oder herstellungsbedingt erweist, ist es Aufgabe der Werkstoffkunde, nach Klärung des ursächlichen Zusammenhanges durch werkstofftechnische Verbesserungen den Schaden abzustellen oder doch zu mindern. Die Beachtung solcher Erkenntnisse beim klinischen Vorgehen ist dann auch eine prophylaktische Maßnahme.

Paßgenauigkeit

Zahnersatz tritt mit dem Gewebe in Wechselwirkung nicht nur durch seine stofflichen Eigenschaften, sondern auch durch seinen Platzbedarf, also seine Dimensionierung. Die richtige anatomische Form des Ersatzes festzulegen (korrekte Okklusion, richtige Ausdehnung der Basis u.a.), ist Aufgabe des Arztes; Sache der Werkstoffkunde ist es, daß die richtige Dimension mit ausreichender Präzision dargestellt werden kann. Damit ist das Problem der Paßgenauigkeit angesprochen. Von besonderer Bedeutung ist die Genauigkeit bei festsitzendem Ersatz, weil man bei der Versorgung von Zähnen bzw. Zahnstümpfen nicht auf eine gewisse Resilienz des Prothesenlagers spekulieren kann und weil das Einsetzen selbst, über die Zementschicht, noch Einfluß nimmt auf die klinische Akkuratess, den Randspalt. Diese Randspalten sind Problemzonen der Mundhygiene. Es soll hier deshalb noch einmal, am Beispiel der Krone, um die Gußpräzision gehen.

Fehler

Es werden aber diesmal keine Details über die Werkstoffeigenschaften und Verarbeitungsweisen zur Präzisionssteigerung erläutert, sondern die Frage der Genauigkeit soll unter dem Aspekt einer allgemeinen Fehlerbetrachtung diskutiert werden.

Dafür sind zunächst einige Fakten und Begriffe in Erinnerung zu rufen: Jedes technische Tun, sei es eine Messung oder ein Herstellungsprozeß, ist im Resultat grundsätzlich fehlerhaft. Man unterscheidet zwei Fehlertypen: *systematische Fehler* und *statistische Fehler*.

Mit einem *systematischen Fehler* hat man es zu tun z.B. bei einer Uhr, die vorgeht oder bei einer Bohrmaschine, in die ein zu kleiner Bohrer eingespannt wurde. Ein systematischer Fehler läßt sich, vor-

ausgesetzt, daß man ihn erkannt hat, immer beheben. Die Behebung des Fehlers erfolgt entweder durch Korrektur des Systems, also Richtigstellen der Uhr, Einspannen des richtigen Bohrers oder durch Ergänzung des Systems, z.B. durch Nachbohren.

Statistische Fehler entstehen, weil jedes noch so exakt korrigierte System unkontrollierbaren, zufällig wirkenden Einflüssen unterliegt, die dazu führen, daß bei wiederholter Nutzung des Systems die einzelnen Resultate mehr oder weniger stark voneinander abweichen. Da diese Einflüsse dem Zufall unterliegen, wirken sie einmal vergrößernd, einmal verkleinernd, so daß die Resultate um einen Mittelwert streuen. Beispiele sind Ablesefehler oder Schwankungen um den Sollwert von Massenprodukten.

Man erkennt, daß das Ausmaß dieser Fehler verkleinert werden kann, etwa durch eine Skala mit feinerer Teilung oder durch die (aufwendigere) Konstruktion einer präziser arbeitenden Maschine. Prinzipiell jedoch sind diese Fehler unvermeidbar. Das Ausmaß der Streuung, die durch diesen Fehlertyp entsteht, ist dann ein wichtiges Qualitätsmerkmal des Systems, es beschreibt dessen Reproduzierbarkeit. Ein Maß dafür ist die Standardabweichung s (Gleichung 1):

$$s = \sqrt{\frac{(x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + \dots + (x_n - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

$$= \sqrt{\frac{1}{n - 1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (\text{Gl. 1})$$

Vortrag gehalten auf der 31. Frühjahrstagung der ZÄK Westfalen-Lippe vom 14. 3. bis 17. 3. 1985 in Bad Salzuffen

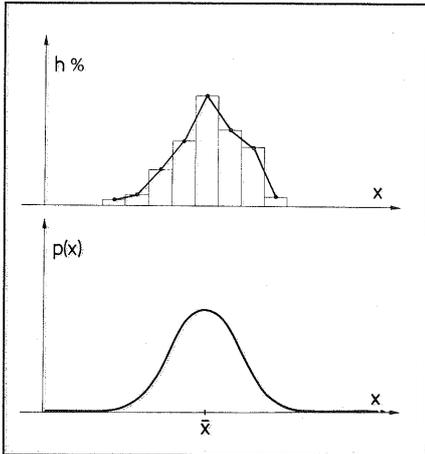


Abb. 1: Häufigkeitsverteilung h und Normalverteilung p(x)

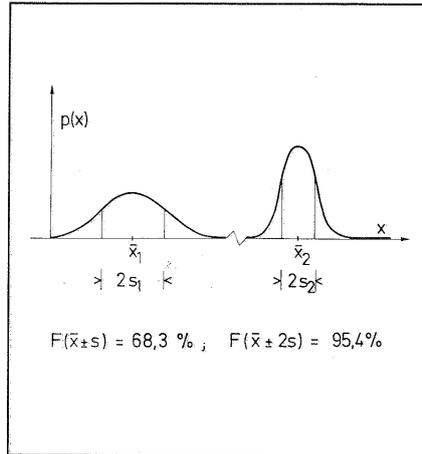


Abb. 2: Zusammenhang zwischen Kurvenform der Normalverteilung und Standardabweichung

Die Standardabweichung berechnet sich also aus den Differenzen der Einzelwerte zum Mittelwert: sind diese groß, so wird sie auch groß.

Häufigkeitsverteilung

Über eine Häufigkeitsverteilung findet man eine sehr anschauliche Interpretation der Standardabweichung. Man identifiziert die Meßgröße der gewonnenen Resultate mit der x-Achse eines Koordinatensystems, teilt die x-Achse in gleich große Intervalle und zählt aus, wieviel Prozent der Meßwerte auf die einzelnen Intervalle entfallen; diese Werte werden als Säulen über den Intervallen aufgetragen (Abb. 1). Die Summe aller Häufigkeiten, das ist die Summe aller Säulenhöhen, ist dann gleich 100%.

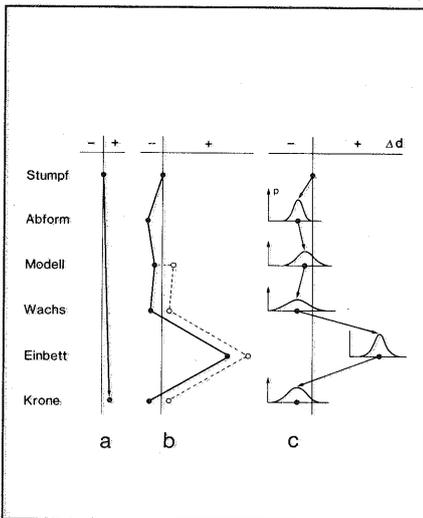


Abb. 3: Schema der systematischen (b) und statistischen (c) Fehler bei der Fertigung einer Krone, bezogen auf den Lumendurchmesser; a) angestrebte Übergroße

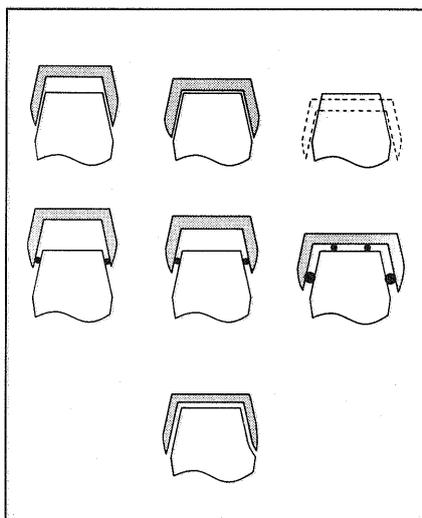


Abb. 4: Zusammenhang zwischen Lumengröße (links zu klein, rechts zu groß), Zementschicht und klinischer Präzision; unten exakte Krone mit definiert vergrößertem Lumen

Die Erfahrung zeigt nun, daß bei andauernder Nutzung des Systems das Einordnen der neuen Resultate an der gefundenen Verteilung im Prinzip nichts ändert, sondern lediglich die Treppenkurve bzw. den Polygonzug verfeinert, wenn bei immer mehr Einzelwerten auch mehr, und das heißt kleinere Intervalle, verwendet werden können. Eine mathematische Behandlung ermöglicht den Übergang zu unendlich vielen Werten, verteilt auf beliebig kleine Intervalle und führt dann zu der bekannten symmetrischen Glockenkurve der Gauss- oder auch Normal-Verteilung. Das Maximum liegt beim Mittelwert \bar{x} der Meßgröße (Abb. 1).

Die Form der Verteilungskurve ist wie die Standardabweichung abhängig von der Streuung: bei großer Streuung sind auch weit vom Mittelwert entfernte Resultate zu berücksichtigen, die Kurve verläuft breit und flach. Bei kleiner Streuung dagegen ist sie schmal und steil (Abb. 2).

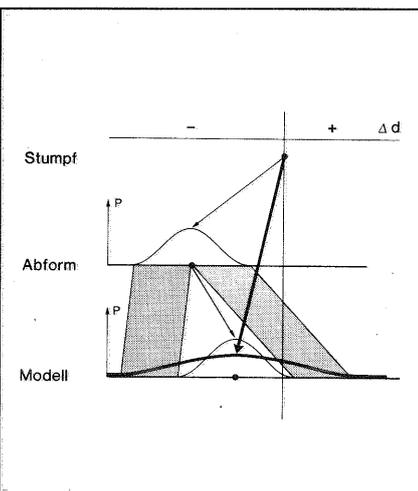


Abb. 5: Überlagerung zweier aufeinanderfolgender statistischer Fehler am Beispiel der Modellherstellung

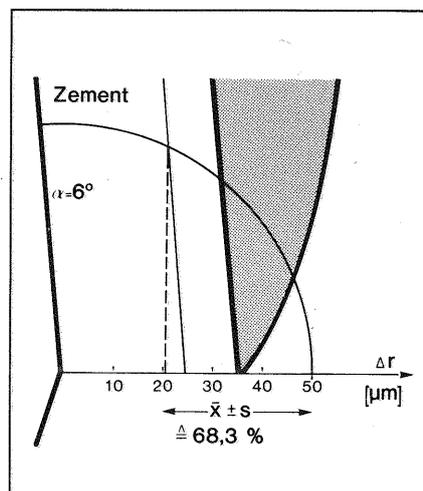


Abb. 6: Randspaltsituation einer exakten Krone mit übergroßem Lumen

Trägt man nun vom Mittelwert \bar{x} nach rechts und links die zugehörige Standardabweichung ab, so findet man über diesem Intervall $\bar{x} \pm s$ gerade 68,3% der Gesamtfläche unter der Kurve. Das bedeutet, da die Gesamtfläche alle Resultate (d.h. Häufigkeit = 100%) repräsentiert, daß auf dieses Intervall 68,3% der Resultate entfallen. Erweitert man das Intervall auf $\bar{x} \pm 2s$, so erfaßt man bereits 95,4% der Gesamtfläche und damit der Resultate (Abb. 2).

Die Erfahrung, daß eine aus bekannten Ergebnissen gewonnene Verteilung durch weitere Wiederholungen bestätigt wird, erlaubt nun eine Prognose für die Verteilung zukünftiger Resultate des Sy-

stems: aus der gemessenen Häufigkeit wird ein Erwartungswert der Häufigkeit, den man als Wahrscheinlichkeit bezeichnet. Sind für ein System Mittelwert \bar{x} und Standardabweichung s bekannt, so kann man bei zukünftigen Resultaten 68,3% der Werte in der Umgebung von $\pm s$ des Mittelwertes erwarten, oder anders ausgedrückt: die Wahrscheinlichkeit, daß das nächste Resultat höchstens um den Betrag s vom Mittelwert \bar{x} abweicht, ist 68,3%.

Gußgenauigkeit

Soll ein Stumpf überkront werden, ist für das Kronenlumen ein bestimmtes Übermaß zu fordern, das den Platzbedarf des Befestigungszementes berücksichtigt (Abb. 3a). Denn wäre die Krone gerade passend zum Stumpf, so würde sie durch die zusätzliche Zementschicht relativ zu klein mit der Folge, daß ihre definitive Position wegen der konischen Präparation stark nach okklusal verschoben wird (Abb. 4). Das gilt natürlich erst recht, wenn die Krone selbst schon zu klein ist. Eine deutlich zu große Krone dagegen kann nicht bis zur Konuspaspung auf den Stumpf geschoben werden, da sie okklusal aufliegt. Hier resultiert beim Einsetzen eine entsprechend dicke Zementschicht. Man erkennt an diesen einfachen Skizzen, daß die klinische Präzision, das ist der Abstand zwischen Kronenrand und Präparationsgrenze, zwar stark von der Stärke der Zementschicht beeinflußt wird, aus der Zementschichtdicke allein jedoch nicht bestimmt werden kann. Eine gezielte Lumenvergrößerung kann die okklusale Verschiebung vermeiden. Ein Zement-spalt tritt immer zutage. Um die Stufe zu vermeiden, kann durch eine Hohlkehl- oder Stufenpräparation der Randspalt mit dem anatomischen Verlauf gefluchtet werden (Abb. 4).

Nun gelangt man nicht direkt vom Stumpf zur Krone: die Herstellung erfordert Zwischenschritte über Abformung, Modell und so fort. Bei jedem Schritt resultieren Dimensionsänderungen, die sich entsprechend ihrem Vorzeichen addieren (Abb. 3b). Von einem Korrekturabdruck ist bekannt, daß er auch mit einem leicht expandierendem Gips einen etwas zu kleinen Modellstumpf liefert; das Wachsmo- dell wird sich infolge innerer Spannungen beim Abheben vom Stumpf ein wenig verkleinern; sofern dann die Einbettmasse in ihrer Gesamtexpansion der thermischen Kontraktion der Legierung beim Abkühlen von Soliduspunkt entspricht, wird wie beim Wachsmo- dell

das Kronenlumen zu klein, insbesondere fehlt die erwünschte Übergröße.

Die Dimensionsänderungen bei den einzelnen Schritten, ob nun erwünscht oder unerwünscht, sind systembedingt, ihre Summation lieferte ein falsches Ergebnis. Da es sich um einen systematischen Fehler handelt, läßt er sich durch Korrektur des Systems, also des Herstellungsprozesses, beheben, etwa indem man den Modellstumpf mit einer geeigneten Lackschicht versieht und auf dem so vergrößerten Stumpf weiter arbeitet: in den nachfolgenden Stationen sind dann, unter sonst gleichen Bedingungen, alle Werte entsprechend vergrößert, so daß man zum angestrebten Endwert gelangt (Abb. 3b). Den könnte man auch erreichen, wenn man ausgehend von dem zu kleinen Wachsmo- dell mit einer entsprechend überexpandierenden Einbettmasse arbeitet. Was man zur Korrektur des Fehlers unternimmt, ist zunächst einmal unerheblich. Entscheidend ist eine exakte Abstimmung des Systems auf das angestrebte Endresultat. Und das schließt eine Abstimmung zwischen Praxis und Labor, zwischen Zahnarzt und Techniker ein: ein Doppelmischabdruck darf nicht nach dem gleichen Schema weiter verarbeitet werden wie ein Korrekturabdruck und ein Wechsel von einem feinkörnigen zu einem grobkörnigen Befestigungszement erfordert z.B. eine stärkere Lackschicht auf dem Modellstumpf. Der in diesem Zusammenhang häufig gebrauchte Begriff „Werkstoffkette“ beschreibt die Situation nur unvollständig, da eben nicht nur die Werkstoffe, sondern auch die Verarbeitungstechniken stimmig sein müssen.

Selbstverständlich hat man es auch bei der Herstellung von Kronen mit statistischen Fehlern zu tun, denn bei jedem Arbeitsschritt gibt es eine Reihe von schwer- oder auch unkontrollierbaren Einflüssen, wie Temperatur, Dosierung, Verarbeitungszeit, Fließbedingungen, Schichtdicken u.a., die als Ursachen statistischer Fehler wirken. Die Werte im Schema der Abbildung 3b sind somit als Mittelwerte aufzufassen, behaftet mit einer für den Fertigungsschritt charakteristischen Verteilung der Streuung (Abb. 3c). Diese Verteilungen erhält man, wenn man bei jedem Fertigungsschritt immer vom gleichen Wert der Vorstufe ausgeht, etwa immer vom gleichen Stumpf genommene Abdrücke vermißt, immer den gleichen Abdruck ausgießt und die resultierenden Modellstümpfe vermißt usw. Die Frage ist nun, wie sich die statistischen Fehler der einzelnen Stufen in ihrer Gesamtheit auf das Endergebnis aus-

wirken; von Interesse ist, mit welcher Standardabweichung ein auf eine geforderte Größe des Kronenlumens abgestimmtes System den angestrebten Mittelwert reproduziert.

Eine statistisch bedingte Abweichung vom Mittelwert eines Arbeitsschrittes wirkt sich in den nachfolgenden Schritten wie ein systematischer Fehler aus, der sich bis zum Endergebnis fort-pflanzt. Für einen vom Mittelwert – etwa des Abdrucklumens in Abbildung 5 – abweichenden Ausgangswert gilt beim nachfolgenden Ausgießen mit Gips der gleiche, für die Modellherstellung charakteristische, systematische Fehler und die gleiche, statistisch bedingte Streu- möglichkeit wie für den Mittelwert der Abdrucklumina. Wegen der Symmetrie der Verteilungskurven sind vergrößernde und verkleinernde Effekte gleich wahr- scheinlich, so daß bei der Anfertigung von Gipsmodellen nach immer neuen Abdrücken des Stumpfes der gleiche Mittelwert der Modelle resultiert wie bei wiederholtem Ausgießen des Mittelwert- abdruckes, jedoch mit größerer Streuung, d.h. größerer Standardabweichung (Abb. 5).

Unter der Voraussetzung, daß die statistischen Fehler aufeinanderfolgender Schritte voneinander unabhängig sind (d.h. am Beispiel der Abbildung 5, daß die Form der vom Mittelwertabdruck erhaltenen Verteilungskurve der Gipsmo- delle unabhängig ist von den Schwankungen der Abdrucklumina; das aber kann unterstellt werden, da diese Schwankungen sehr klein sind im Ver- gleich zur Lumengröße selbst), läßt sich die resultierende Standardabweichung aus den Standardabweichungen der Ein- zelschritte berechnen (Gleichung 2):

$$s_r = \sqrt{s_1^2 + s_2^2 + s_3^2 + \dots + s_n^2} \quad (\text{Gl. 2})$$

Rechen-
beispiel: $\sqrt{3^2 + 4^2} = \sqrt{25} = 5$

Diese Überlagerung ist – wie das Re- chenbeispiel zeigt – milder als die einfache Summation ($3 + 4 = 7$) und trägt der Tatsache Rechnung, daß bei aufeinanderfolgenden statistischen Fehlern die Kombination unterschiedlicher Vorzei- chen wahrscheinlicher ist als eine Folge gleicher Vorzeichen (nur vergrößernd bzw. nur verkleinernd).

Originalarbeit

LABOR - WERTE

	\bar{x} [μm] (Spalt, Δr)	s [μm]
Inlays (SOBKOWIAK)	35	10
Kronen (MEINERS)		15
Kronen(Vorkl.) (LEHMANN)	42	(40)

Tab. 1: Mittelwerte mit Standardabweichungen von Spaltbreiten bei Laborstudien

der Fertigung von über 300 Kronen für konische Stümpfe nach der direkten Technik eine Standardabweichung von 10 μm für den Lumenradius erreicht, die zusammengefaßt mit der aus anderen Versuchen in unserem Labor¹² bekannten Standardabweichung für die Radien von Gipsstümpfen nach Korrekturabdrücken – wiederum 10 μm – nach Gleichung 2 eine Standardabweichung von 15 μm für die indirekte Technik erwarten läßt. Eine mittlere Spaltbreite ist hier nicht anzugeben, weil je nach Fragestellung der Untersucher sowohl mit überals auch mit unterexpandierender Einbettung gearbeitet wurde. *Lehmann*⁷ findet an 300, auf ihre Stümpfe geklebten

oder nicht, Werte von 105 μm bzw. 190 μm . (Die Bedeutung einer erkennbaren Präparationsgrenze für die klinische Präzision kann kaum überzeugender demonstriert werden). Die aus den Angaben³ abzuschätzenden Standardabweichungen sind wiederum in Klammern angegeben (Tab. 2).

Zur Messung von Randspalten zwischen Restauration und Zahn- bzw. Modellstumpf ist festzustellen, daß die Resultate nicht normalverteilt sein können, entsprechend einer Kurve in Abb. 2. Das wird verständlich, wenn man sich vergegenwärtigt, daß negative Randspalte nicht möglich sind und zunehmend kleinere Kronenlumina schließlich in Folge der okklusalen Verschiebung eine steile Zunahme des klinischen Randspaltes verursachen (Abb. 4). Die Verteilungskurven sind somit nicht symmetrisch zum Mittelwert; daher dürfen die nach Gleichung 1 berechneten zugehörigen Standardabweichungen auch nicht für die in Abb. 2 erläuterte Interpretation herangezogen werden (nach wie vor aber ist die Standardabweichung ein Maß für die Streuung). Die Asymmetrie der Verteilungen wird auch deutlich aus der Tatsache, daß bei nur positiven Werten für die Spaltbreiten die Standardabweichungen z.T. gleich groß oder auch größer sind als die zugehörigen Mittelwerte. Bei unseren Laborversuchen dagegen wurde die Genauigkeit der Kronen nicht über Spaltbreiten zum Stumpf, sondern über eine Messung des Lumenradius ermittelt⁹; die hier gefundene Standardabweichung beschreibt eine Normalverteilung.

KLINISCHE - WERTE

	\bar{x} [μm]	s [μm]	differenziert	
			\bar{x}	s
Inlays, Teil- Vollkronen (DIEDRICH, ERPENSTEIN)	92	89	Inlay 70 okkl. 51	60 48
Kronen (MARXKORS, DÜSTERHUS)	mit 105 Präp.-Grenze	(160)	ling. 70 vest. 90 mes. 100 dist. 160	(140) (170) (130) (160)
	ohne 190 Präp.-Grenze	(260)		

Tab. 2: Mittelwerte mit Standardabweichungen von Spaltbreiten gemessen an extrahierten Zähnen

Bei aller Zurückhaltung, die daher beim Vergleich so unterschiedlicher Studien geboten ist, wird doch deutlich, daß unter Laborbedingungen die bessere Reproduzierbarkeit möglich ist, daß aber bereits beim Wechsel von stilisierten Stümpfen einfachster Geometrie zu den klinisch realistischen Formen der vorklinischen Unterrichts der statistische Fehler zunimmt. Beim klinischen Vorgehen finden Abformung und Einsetzen am Patienten statt. Diese am Patienten durchzuführenden und oft von seinem Mittun beeinflussten Maßnahmen sind offenbar so wenig normierbar, daß sie eine drastische Zunahme der Streuung verursachen. Daß hier tatsächlich klinische Bedingungen entscheidenden Einfluß haben, erweist sich auch daran, daß die bessere Zugänglichkeit der Zahnregion, in welcher sich der Spalt befindet, der klinischen Präzision förderlich ist, wie eine Differenzierung der Werte der klinischen Nachuntersuchung belegt (Tab. 2). Inlays und hier wieder die okklusalen Spalten sind sowohl im Mittelwert als

Zahlenwerte

In der Literatur finden sich sowohl Laborstudien zur Gußpräzision als auch Angaben zur klinischen Präzision von festsitzendem Zahnersatz aus Nachuntersuchungen an extrahierten Zähnen. Einige dieser Arbeiten (Tab. 1 und 2) seien hier kurz erläutert.

So erzielte *Sobkowiak*¹¹ mit nicht zementierten MOD-Inlays auf stilisierten Phantomstümpfen mittlere Spaltbreiten, in unterschiedlichen Bereichen gemessen, um 35 μm mit einer Standardabweichung von 10 μm . In unserer Klinik wurde von mehreren Doktoranden⁹ bei

Kronen aus den vorklinischen Kursen eine mittlere Spaltbreite von 42 μm . Aus seinen Angaben wurde eine Standardabweichung von 40 μm abgeschätzt, die deshalb in Klammern aufgeführt ist (Tab. 1).

Die klinischen Nachuntersuchungen von *Diedrich* und *Erpenstein*² an in ihrer Praxis unter kontrollierten Bedingungen eingegliederten und bis zu 5 Jahren getragenen Inlays, Teil- und Vollkronen ergab eine mittlere Spaltbreite von 92 μm mit einer Standardabweichung von 89 μm . *Marxkors*⁸ und *Düsterhus*³ fanden an 110 extrahierten überkronen Zähnen, über deren Vorgeschichte nur in Einzelfällen etwas bekannt war, je nach dem ob eine erkennbare Präparationsgrenze vorlag

auch in der Standardabweichung zufriedenstellender als Halb- oder Vollkronen. Bei den Kronen steigen die mittleren Spaltbreiten vom lingualen über den vestibulären und mesialen bis zum distalen Bereich. Dieser Zusammenhang zwischen Zugänglichkeit und klinischer Präzision ist ein gewichtiges Argument für den supragingivalen Verlauf der Präparationsgrenze, wann immer das möglich ist.

Die klinischen Studien lassen aber auch erkennen, daß die Forderung von *Dreyer-Jørgensen*¹ nach Randspalten unter 50 µm Breite klinisch nicht zuverlässig, d. h. mit großer Wahrscheinlichkeit realisiert werden kann. Sie muß deshalb als unrealistisch bezeichnet werden. Die Forderung wird von *Dreyer-Jørgensen* damit begründet, daß Sekundärkaries an solchen Randspalten sicher vermieden wird, die mit bloßem Auge nicht sichtbar und mit einer Sonde nicht tastbar sind, was nach seinen Versuchen bei Diskrepanzen unter 50 µm der Fall war. Insofern mag das Unterschreiten der 50 µm-Grenze als erstrebenswertes Ziel Bestand haben. Diesen Wert aber als klinisch relevant zu etablieren, beruht auf der unterstellten Richtigkeit des Umkehrschlusses, daß bei größeren klinischen Spaltbreiten notwendigerweise Sekundärkaries auftritt. Das aber ist, wie die klinische Erfahrung lehrt, und worauf auch *Diedrich*² und *Erpenstein*⁵ hinweisen, keineswegs der Fall. Unseres Wissens gibt es noch keine Antwort auf die Frage, welche Spaltbreite bei ausreichender Mundhygiene und Zugänglichkeit toleriert werden kann.

Die Abb. 6 zeigt im Detail die Randsituation Stumpf-Krone mit der erwünschten Übergröße des Lumens für die Zementschicht. Jede Lage des Kronenrandes im Kreissegment mit dem Radius 50 µm um die Präparationsgrenze würde der Forderung von *Dreyer-Jørgensen* genügen. Bei einer angenommenen Mindestdicke der Zementschicht von 25 µm wird der Rand bei einer Übergröße von weniger als 25 µm okklusal verschoben und läge bei einer Übergröße von nur 20 µm bereits am Schnittpunkt Zementschicht-Kreisbogen. Für die Übergröße bleibt also ein Spielraum in den Grenzen von 20–50 µm. Wird die angestrebte Lumenvergrößerung mit $\Delta\bar{r} = 35 \mu\text{m}$ in die Mitte dieses Bereiches gelegt, so entspricht das Intervall von 20 bis 50 µm gerade dem Wert $\Delta\bar{r} \pm s$, wenn man für die Standardabweichung den aus unseren Laboruntersuchungen zur Anfertigung von Kronen gewonnenen Wert von $s = 15 \mu\text{m}$ einsetzt. Das aber bedeutet,

daß bei den hier gemachten Annahmen (Präparationswinkel 6°, Zementschicht 25 µm) nur mit einer Wahrscheinlichkeit von 68,3% Randspalte unter 50 µm Breite erwartet werden können. Damit ist die Forderung von *Dreyer-Jørgensen* im vorliegenden Fall nicht einmal unter Laborbedingungen mit zufriedenstellender Sicherheit erfüllbar.

Die in den klinischen Studien gefundenen Mittelwerte liegen denn auch eher bei 100 µm als unter 50 µm. Das Vorkommen auch wesentlich größerer Werte ist einmal eine Folge der besonderen geometrischen Bedingungen der konischen Präparation, die auch geringfügig zu kleine Kronen stark nach okklusal verschiebt. Zum anderen entstehen große Spalten auch durch zu lange, also überstehende Kronenränder, ein durchaus vermeidbarer Fehler, insbesondere bei einer deutlich erkennbaren Präparationsgrenze. Somit geht es vor allem darum, der Gefahr der okklusalen Verschiebung vorzubeugen durch eine gezielte Vergrößerung des Lumenradius.

Unterstellt man, daß sich die Standardabweichung bei Gipsmodellen nach klinischen Korrekturabdrücken nur auf 20 µm verdoppelt gegenüber den Laborbedingungen, so resultiert zusammen mit der von uns für die Kronenfertigung nach der direkten Technik gefundenen Standardabweichung von 10 µm nach Gleichung 2 für Kronen nach klinischer Korrekturabformung eine Standardabweichung für den Lumenradius von 22 µm. Mit diesem Wert, unter Beibehaltung der in Abbildung 6 dargestellten Bedingungen ($\alpha = 6^\circ$; Zementschicht = 25 µm) und einem Sollwert $\Delta\bar{r} = 50 \mu\text{m}$ für die Übergröße des Lumenradius, folgt aus den für Normalverteilungen gültigen Gesetzmäßigkeiten, daß Randspalten zwischen 28 und 50 µm sowie zwischen 50 und 72 µm mit einer Wahrscheinlichkeit von jeweils 34,2% (= $0,5 \times 68,3\%$, vgl. Abb. 2) zu erwarten sind. Mit Hilfe der Verteilungsfunktion läßt sich weiter abschätzen, daß Übergrößen der Kronen mit $\Delta r > 80 \mu\text{m}$ mit 8,7% und okklusale Verschiebungen um mehr als 80 µm in Folge zu kleiner Lumina mit 6,9% Wahrscheinlichkeit auftreten; für eine Verschiebung um mehr als 250 µm beträgt die Wahrscheinlichkeit 1%. Das Risiko der okklusalen Verschiebung, welche ja – abhängig vom Präparationswinkel – immer ein Mehrfaches der Radiusdelizites beträgt (vgl. Abb. 6; allgemein: $1/\text{tg } \alpha$; z. B. 9,5 für $\alpha = 6^\circ$; 6,3 für $\alpha = 9^\circ$), wird um so größer, je weniger der Sollwert $\Delta\bar{r}$ der Lumengröße die

Mindestzementschichtdicke übertrifft: wird zum Beispiel $\Delta\bar{r}$ auf 40 µm verringert, so treten Übergrößen mit $> 80 \mu\text{m}$ zwar nur noch mit einer Wahrscheinlichkeit von 3,4% auf, das Risiko einer okklusalen Verschiebung zu kleiner Kronen um mehr als 80 µm steigt dagegen auf 14,5%, das einer Verschiebung um mehr als 250 µm auf 3%. Die Forderung nach einer *gezielten* Vergrößerung des Lumenradius um den Betrag der Mindestdicke des Zementes *plus* 25 µm erscheint somit gerechtfertigt.

Diese Beispielrechnung mit zugegebenenmaßen vereinfachten geometrischen Bedingungen und unterstellten, gleichwohl nicht völlig unrealistischen Werten für Standardabweichung, Präparationswinkel und Zementschicht, belegt, daß klinische Spaltbreiten unter 50 µm keineswegs unwahrscheinlich sind, daß aber auch größere Werte hingenommen werden müssen. Vorausgesetzt wird eine gezielte Vergrößerung des Kronenlumens mit möglichst guter Reproduzierbarkeit des Sollwertes. Es wurde gezeigt – und das ist das Anliegen dieser Ausführungen –, daß das nur mit einem exakt abgestimmten System möglich ist, in welchem bei jedem Arbeitsschritt die unvermeidlichen Zufallseffekte möglichst klein gehalten werden. Genau dies aber ist präzises Arbeiten. Und nur durch Präzision ist sicherzustellen, daß die Wahrscheinlichkeit für Spaltbreiten über 100 µm hinreichend klein bleibt. Diskrepanzen dieses Ausmaßes sind erkennbar und sollten in Extremfällen korrigiert werden, was immer möglich ist, wenn die Restauration zunächst nur provisorisch eingesetzt wurde.

Die Einstufung der 50 µm-Forderung als unrealistisch darf deshalb auf gar keinen Fall zum Vorwand genommen werden, im Bemühen um Präzision zu resignieren. Nach wie vor gilt auch, daß ein 40 µm-Spalt günstiger zu beurteilen ist als ein 80 µm-Spalt. Andererseits aber ist festzustellen, daß ein Kronenrandspalt von 80 µm nicht a priori ein Mißerfolg ist, sondern ein beachtliches und nicht unbedingt selbstverständliches Resultat sein kann, mit akzeptabler klinischer Prognose bei entsprechender Mundhygiene.

Wenn mit dieser Aussage beim Leser auch der Schwellenwert gegen berufliche Frustration etwas heraufgesetzt werden konnte, so sehen wir darin ebenfalls eine Maßnahme werkstoffkundlicher Prophylaxe.

Elektrische Erscheinungen

Neben den mechanischen Wirkungen von Zahnersatz ist sicher auch die Biokompatibilität der benutzten Werkstoffe für die Prognose des Ersatzes von größter Bedeutung. In diesem Zusammenhang sei unter dem Aspekt „Prophylaxe und Werkstoffkunde“ noch ganz kurz auf den Komplex der elektrischen Phänomene an Dentallegierungen eingegangen, weil dieses Thema offenbar in zunehmendem Maße die Patienten beschäftigt und verunsichert. Aber auch Kollegen stehen diesem physikalischen Problem oft ein wenig hilflos gegenüber, zumal wenn der Patient selbst Ingenieur ist oder doch mit fachmännisch gemessenen Strom- und Spannungswerten in der Praxis erscheint.

Die Physik dieser elektrischen Erscheinungen wurde in einer früheren Arbeit ausführlich dargestellt¹⁰. Dennoch sollen hier ganz kurz einige Punkte in Erinnerung gerufen werden, weil nur eine fundierte und sachliche Information den Patienten beruhigen und vor übereilten Entschlüssen bewahren kann.

Elektrische Potentiale an einzelnen metallischen Restaurationen sowie Spannungsdifferenzen zwischen verschiedenen Metallen sind unvermeidbar und entstehen auch, wenn man mit einem metallischen Besteck ißt. Ströme treten auf nicht nur bei metallischem Kontakt zweier Restaurationen, sondern auch, wenn die Restaurationen gleichzeitig mit Speichel und Gewebsliquor in Berührung sind.

Es gibt kein physiologisches Modell, demzufolge die an normalen Metallrestaurationen auftretenden elektrischen Effekte als Ursache von Krankheiten angesehen werden könnten⁴. Aus der Physik ist die Vorstellung vertraut, daß ein elektrisch geladener Gegenstand in seiner Umgebung ein weitreichendes elektrisches Feld erzeugt, das auch auf entfernte geladene Teilchen einwirkt. Ein solches Feld ist aber nur in einem nichtleitenden Medium, etwa Luft, möglich, nicht aber in einem Elektrolyten. Eine Amalgamfüllung hat also kein „Störfeld“, das, wie man es auch manchmal liest, auf Hypophyse oder Hirn einwirken kann.

Wenn Ströme fließen, so können in anodischer Reaktion Metallionen in Lösung

gehen. Bei minderwertigen oder schlecht verarbeiteten Legierungen kann eine nennenswerte Korrosion stattfinden, dann meist erkennbar an Verfärbungen und/oder am metallischen Geschmack. Hier ist selbstverständlich Abhilfe zu schaffen. Im Normalfall sind die freigesetzten Mengen jedoch immer subtoxisch und liegen deutlich unter den Werten, die ohnehin aus der Umwelt aufgenommen wurden, z. B. mit Nahrungsmitteln. Dieses gilt insbesondere auch für das Quecksilber, das unzweifelhaft aus Amalgamfüllungen freigesetzt wird⁶.

Das freigesetzte Metall kann bei sensibilisierten Patienten allergische Reaktionen auslösen. Dies ist insbesondere bei nickelhaltigen Legierungen zu beachten. Es ist aber unseres Wissens bis jetzt kein Fall bekannt geworden, daß eine nickelhaltige Dentallegierung die Sensibilisierung selbst ausgelöst hat.

Das Wissen der Patienten um diese Dinge stammt in der Regel aus nichtwissenschaftlichen Quellen, und selbst wenn unter den Halbwahrheiten richtige Zahlenwerte sind, so wissen sie diese meist nicht einzuordnen. Um so wichtiger ist dann eine sachliche Information, die sie sich von ihrem Zahnarzt erwarten. Dabei geht es nicht um ein Privatisimum in Physik; genau so wie wir uns auf Physiologen und Toxikologen berufen, so kann sich der Zahnarzt zusätzlich auf den Physiker berufen.

Die Patienten sind zunächst einmal dankbar für die Information. Ob ein Patient sich darüber hinaus auch von der vorgetragenen Interpretation der Effekte überzeugen läßt, ist eine ganz andere Frage. Es ist aber das gute Recht eines Patienten, für sich etwa eine zusätzliche Quecksilber-Belastung durch eine Amalgamfüllung abzulehnen. Sache des Zahnarztes ist es dann, diesen Patienten über die Nachteile der Alternativen, z. B. einer Komposit-Füllung im Seitenzahnbereich aufzuklären.

Umgekehrt kann niemand den Zahnarzt dazu zwingen – und aus forensischen Gründen sei dringend davon abgeraten, solchem Druck nachzugeben – eine *klinisch einwandfreie* und *sonst unauffällige* metallische Restauration zu entfernen, nur weil an dieser Restauration eine elektrische Erscheinung gemessen werden kann. Vor diesem Hintergrund ist es unverantwortlich, entsprechende Meßgeräte als „Diagnose-Meßgeräte“ zu be-

zeichnen. Elektrische Meßgeräte allein haben keine Aussagekraft und sind spätestens dann unsinnig, wenn Kurzschlußsituationen erfaßt werden zwischen Restaurationen, etwa oben rechts und unten links, die ohne eine Meßstrippe niemals in metallischen Kontakt untereinander geraten können.

Auch diese Informationen, ihre Beachtung und Weitergabe an den Patienten, dienen sicherlich der Vorsorge, eine Vorsorge, die aus der Sicht des Werkstoffkundlers wiederum nicht nur auf den Patienten, sondern ein wenig auch auf den Leser gerichtet sein sollte.

Literatur:

- 1 Dreyer-Jørgensen, K.: Prüfungsergebnisse zahnärztlicher Gußverfahren. Dtsch. Zahnärztl. Z. 13, 461 (1958)
- 2 Diedrich, P. und H. Erpenstein: Rasterelektronenoptische Randspaltanalyse von in-vivo eingegliederten Stufenkronen und Inlays. Schweiz. Mschr. Zahnheilk. 95, 575 (1985)
- 3 Düsterhus, Th.: Untersuchungen über den zervikalen Randschluß an extrahierten überkronten Zähnen. Med. Diss. Münster, 1980
- 4 Elger, Ch.: Physiologische Wirkung elektrischer Ströme. Vortrag anlässlich der 29. Frühjahrstagung der Zahnärztekammer Westfalen-Lippe, Bad Salzuflen (1983)
- 5 Erpenstein, H. und P. Diedrich: Nachuntersuchung zur Kariesanfälligkeit und gingivalen Irritationen von Teilkronen. Dtsch. Zahnärztl. Z. 32, 10 (1977)
- 6 Forschungsinstitut für die zahnärztliche Versorgung (Herausgeber): Zur Frage der Nebenwirkungen bei der Versorgung kariöser Zähne mit Amalgam. Köln, 1982
- 7 Lehmann, K.M. und G. Krauth: Der Randschluß von Gußkronen – hergestellt im propädeutischen Unterricht. Dtsch. Zahnärztl. Z. 39, 750 (1984)
- 8 Marxkors, R.: Der Randschluß von Gußkronen. Dtsch. Zahnärztl. Z. 35, 913 (1980)
- 9 Meiners, H., Chr. Mende und D. Schmid: Zur Genauigkeit von Tiefziehkäppchen. Dtsch. Zahnärztl. Z. 39, 747 (1984)
- 10 Meiners, H.: Elektrische Erscheinungen an metallischen Füllungen. Zahnärztl. W. 93, 38 (1984)
- 11 Sobkowiak, E.-M.: Zur Füllungstherapie unter Berücksichtigung experimenteller Untersuchungen am Modellgußinlay. Dtsch. Stomat. (DDR) 26, 725 (1976)
- 12 Wronska-Golda, M.: Zur Genauigkeit der Abformung teilbezahnter Kiefer. Med. Diss. Münster, 1981

Anschrift des Verfassers:

Prof. Dr. rer. nat. H. Meiners
Waldeyerstraße 30, 4400 Münster