

Ursachen und Auswirkungen von Eigenspannungen in zahnärztlichen Werkstoffen

Meiners, Hermann

First published in:

ZWR, 91. Jg., Nr. 5, S. 20 - 26, Stuttgart 1982, ISSN 0044-166x

Münstersches Informations- und Archivsystem multimedialer Inhalte (MIAMI)

URN: urn:nbn:de:hbz:6-39339428494

Ursachen und Auswirkungen von Eigenspannungen in zahnärztlichen Werkstoffen

H. Meiners, Münster

Der folgende Beitrag macht deutlich, wie wichtig die werkstoffkundlichen Aspekte der Zahntechnik für den Arbeitsablauf und für den langfristigen Erfolg sind. Es ist gut, daß die Werkstoffkunde in zunehmendem Maße Beachtung in den ZMK-Kliniken unserer Universitäten findet.

1 Innere Spannungen

Unterliegt ein Körper äußeren Kräften, so wird er deformiert. Die Deformation ist anfänglich proportional der verformenden Kraft und stellt sich bei Entlastung vollständig zurück. Diesen Zusammenhang beschreibt das *Hooke'sche* Gesetz. Es lautet für den einfachsten Fall einer Deformation, den Zugversuch

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad (\text{Gl. 1})$$

wobei σ die Zugspannung (einwirkende Kraft/Probenquerschnitt) und ε die Dehnung (Längenzunahme/Ausgangslänge) ist. Der Proportionalitätsfaktor E heißt Elastizitäts-(E-)Modul und ist ein materialspezifisches Maß für den elastischen Verformungswiderstand. Die Gleichung beschreibt im Spannung-Dehnung-Diagramm eine Gerade (Abb. 1a).

Das *Hooke'sche* Gesetz besagt, daß zur Deformation eines Körpers zunehmend größere Kräfte erforderlich sind. Das aber bedeutet umgekehrt, daß im Inneren des Körpers Kräfte resultieren, die einer weiteren Deformation entgegenwirken und den Körper in die Aus-

gangsdimension zurückzustellen suchen. Im Gleichgewichtsfall sind nach dem Prinzip *actio = reactio* diese inneren Kräfte den äußeren entgegengesetzt gleich groß. Die Rückstellkräfte werden auf den gleichen Probenquerschnitt bezogen wie die äußeren Kräfte und als *innere Spannungen* bezeichnet.

Innere Spannungen und elastische Deformationen bedingen sich gegenseitig. Ist die Deformation bekannt, so läßt sich für ein Werkstück mit gegebenem E -Modul der innere Spannungszustand mit Hilfe der *Hooke'schen* Gleichung berechnen (Abb. 1a), vorausgesetzt, daß die Deformation rein elastisch ist. Ist dagegen bereits eine plastische Deformation erfolgt, so ist der Gültigkeitsbereich des *Hooke'schen* Gesetzes verlassen. Man erkennt in Abbildung 1b, daß mit einer plastischen Verformung immer auch ein Spannungsabbau einhergeht.

2 Eigenspannungen

In einem Werkstück können innere Spannungen vorhanden sein, ohne daß eine äußere Ursache zu erkennen

ist. Solche *Eigenspannungen* treten auf, wenn ein deformierter Teilbereich des Werkstückes in seiner Rückstellung behindert wird durch einen anderen Teilbereich mit entgegengesetzter Rückstellendenz. So hindert etwa die Sehne eines Bogens (Abb. 2) die Rückstellung des gekrümmten Stabes; umgekehrt behindert der Stab die gedehnte Sehne in ihrer Verkürzungstendenz. Eigenspannungen sind also immer komplexe Spannungszustände aus Rückstellendenzen unterschiedlicher Richtung. Da die Entlastung in einem Teilbereich (etwa durch Verkürzung der Sehne in Abbildung 2) eine zusätzliche Deformation (im Beispiel eine stärkere Krümmung des Stabes) und damit erhöhte Spannungen im anderen Teilbereich bedingt und umgekehrt, nimmt das Werkstück eine Dimension an, bei der sich alle Rückstellendenzen gegenseitig kompensieren: im Gleichgewicht ist die Summe aller Spannungen gleich Null, nach außen wirken keine Kräfte. Daraus folgt, daß es einem Werkstück nicht ohne weiteres anzumerken ist, ob es Eigenspannungen aufweist oder nicht. Zur Beantwortung dieser Frage ist erst ein Experiment erforderlich (beim Bogen etwa Zupfen oder Zerschneiden der Sehne).

Es gibt jedoch charakteristische Ursachen für das Entstehen von *Eigenspannungen*, so daß aus dem Werdegang eines Werkstückes beurteilt werden kann, ob und u. U. auch in welchem Umfang innere Spannungen vorhanden sind.

3 Ursachen

3.1 Plastische Deformation

Da beim einfachen Zug- aber auch beim Druckversuch im Inneren des Probekörpers lediglich homogene Spannungszustände auftreten, können im Zusammenhang mit diesen Belastungen keine Eigenspannungen resultieren. Bei einer Biegebelastung dagegen entsteht ein komplexer Spannungszustand mit Zug- und Druckspannungen: die Biegekraft kippt ursprünglich parallele Probenquerschnitte gegeneinander (Abb. 3), so daß im oberen Bereich der Probe durch Stauchung Druckspannungen, im unteren infolge Dehnung Zugspannungen entstehen. Die Grenze zwischen Druck- und Zugzone heißt Neutrale Faser; hier ist die Spannung gleich Null. Nach außen hin, mit zunehmendem Abstand von der Neutralen Faser, nehmen die Spannungen zu. Solange die Biegung rein elastisch bleibt, befindet sich die Probe nach der Entlastung (vollständige Rückstellung) wieder im spannungsfreien Zustand. Wenn es aber während der Belastung zu plastischen Deformationen kommt, weil in den äußeren Zonen die Spannung die Proportionalitätsgrenze des Probenmaterials überschritten hat (Abb. 4), wird die völlige Rückstellung durch die zu kurz gewordene obere und die zu lang gewordene untere Zone behindert. Ein weiterer Abbau der noch im nur elastisch deformierten Probeninneren vorhandenen Rückstellenden bewirkt eine erneute Dehnung des gekürzten oberen und eine erneute Stauchung des gelängten unteren Probenbereiches mit den zugehörigen Zug- und Druckspannungszuständen. Die (unvollständige) Rückstellung ist beendet, wenn die zunehmenden neuen Spannungen in den Außenzonen die restlichen Spannungen im Probeninneren gerade kompensieren (Abb. 4). Plastisch gebogene Gegenstände haben somit Eigenspannungen. Allgemein gilt, daß partielle oder ungleichmäßige plastische Verformungen eines Werkstückes Eigenspannungen provozieren.

3.2 Temperaturänderungen

Jede Temperaturänderung bedingt auch eine Dimensionsänderung des betroffenen Werkstückes. Im allgemeinen erfolgt eine Expansion mit zunehmender Temperatur (thermische Expansion) und umgekehrt. Der Effekt wird mit dem materialspezifischen thermischen Ausdehnungskoeffizienten α beschrieben:

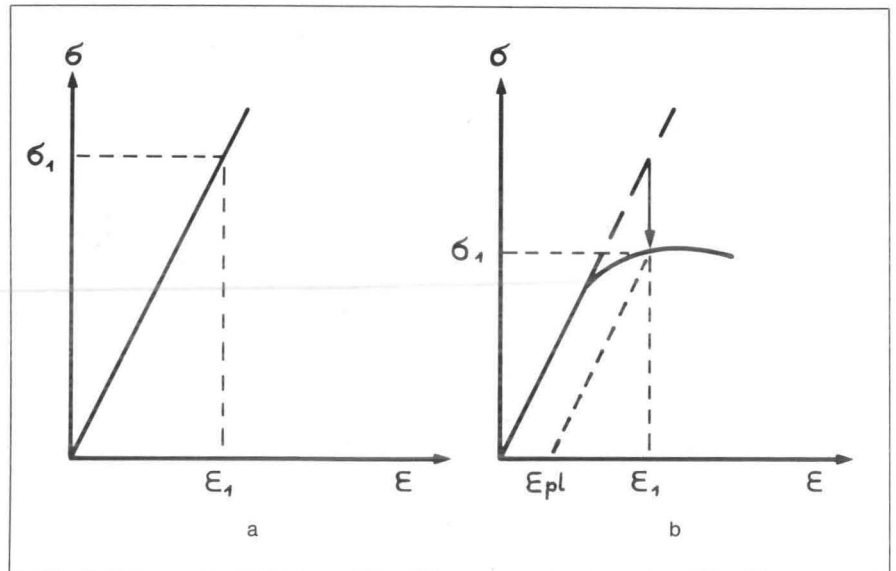


Abb. 1: Hooke'sche Gerade im Spannung-Dehnungs-Diagramm (a). Nach Überschreiten der Proportionalitätsgrenze ist nur noch ein Teil ($\epsilon_1 - \epsilon_{pl}$)

der Deformation elastisch; der zu ϵ_1 gehörige Spannungswert ist kleiner als der nach Gl. 1 (b).

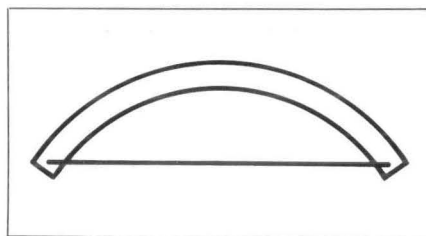


Abb. 2: Gespannter Bogen als Beispiel für ein Werkstück mit Eigenspannungen.

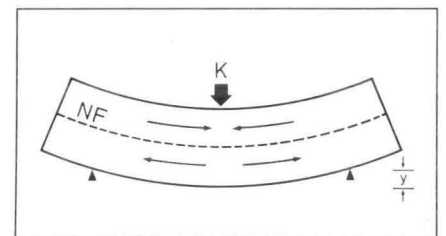


Abb. 3: Die Neutrale Faser NF trennt Druck- und Zugspannungen in einer elastisch gebogenen Probe (Biegekraft K, Durchbiegung y).

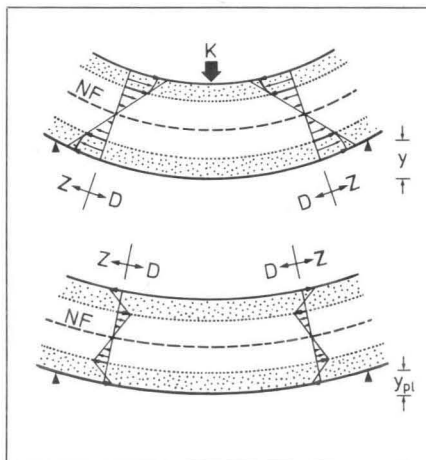


Abb. 4: Spannungszustände (Pfeile) in einer plastisch gebogenen Probe: a) während der Belastung; die plastische Deformation beginnt an den Außenzonen im Bereich der größten Druck- (D) und Zugspannungen (Z), wenn dort die Proportionalitätsgrenze erreicht ist. b) nach der Entlastung; in den inneren Zonen Reste der elastischen Biegespannungen, in den äußeren Zonen neue Zug- und Druckspannungen. In den plastisch deformierten Bereichen entsteht je eine zusätzliche neutrale Faser.

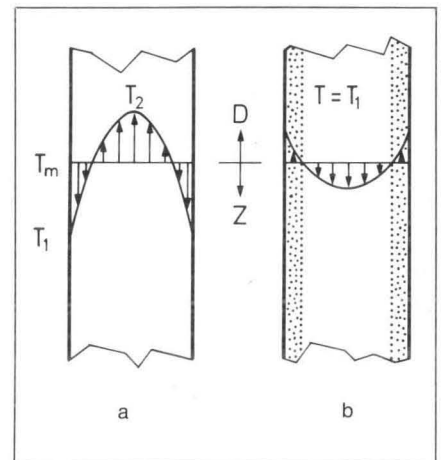


Abb. 5: Eigenspannungen in einer Platte: a) während der Abkühlung von T_2 auf T_1 als Folge des Temperaturgefälles, b) nach der Abkühlung als Folge einer plastischen Deformation der oberflächennahen Schichten (D = Druck-, Z = Zugspannungen).

$$\alpha = \frac{\Delta l}{l_0 \cdot \Delta T} \quad (\text{Gl. 2})$$

Δl = Längenänderung
 l_0 = Ausgangslänge
 ΔT = Temperaturdifferenz

Wird nun z. B. während der Abkühlung ein Werkstück in seiner Kontraktion behindert (d. h., es ist für die niedrige Temperatur zu groß), entstehen innere Spannungen. Dieser Spannungszustand gleicht dem, der resultiert, wenn das Werkstück zunächst unbehindert abkühlt und dann durch äußere Kräfte in die Form der behinderten Kontraktion gedehnt wird. Sofern die dabei auftretenden Deformationen rein elastisch sind, lassen sich die damit verbundenen Spannungen mit Hilfe der Gleichungen 1 und 2 berechnen:

$$\alpha \cdot \Delta T = \frac{\Delta l}{l_0} = \epsilon$$

$$\sigma = \epsilon \cdot E = \alpha \cdot \Delta T \cdot E \quad (\text{Gl. 3})$$

Während der Temperaturänderung eines Körpers besteht in seinem Inneren notwendigerweise ein Temperaturgefälle. Wird z. B. eine Platte von höherer Temperatur auf die Umgebungstemperatur abgekühlt (Abb. 5), geraten die kälteren, oberflächennahen Zonen unter Zugspannung, da der noch heiße Kern die Kontraktion der kälteren Bereiche behindert; umgekehrt gerät das Zentrum unter Druckspannungen. Während der Abkühlung steht die Platte unter Eigenspannung. Die Grenze zwischen Druck- und Zugzone ist gegeben durch eine mittlere Temperatur, die mit der mittleren Dichte des Materials korrespondiert. Auf diese mittlere Temperatur ist die Temperaturdifferenz ΔT in Gleichung 3 zu beziehen, wenn man für eine bestimmte Zone die Spannung berechnen will. Sofern die Spannungen nur elastische Deformationen verursachen, verschwinden die Eigenspannungen nach erfolgtem Temperatúrausgleich. Wenn die Spannungen dagegen zu plastischen Deformationen geführt haben, z. B. zu einer bleibenden Dehnung der oberflächennahen Bereiche, sind nach erfolgter Abkühlung diese Bereiche zu groß. Entsprechend geraten sie unter Druckspannung und das Zentrum unter Zugspannung (Abb. 5), so daß nun die Platte auch nach der Abkühlung, ohne Temperaturgefälle in ihrem Inneren, Eigenspannungen aufweist. Was für den Fall der Abkühlung aufgezeigt wurde, gilt mit umgekehrtem Vorzeichen auch für die Aufheizung eines Werkstückes.

3.3 Quellen

Die in Abbildung 5 gezeichnete Kurve eines Temperaturgefälles kann auch als Konzentrationsgefälle eines Lösungsmittels in einem quellfähigen Werkstoff interpretiert werden. Veränderungen der Konzentration durch Quellen ($\hat{=}$ Aufheizen) oder Verdunsten ($\hat{=}$ Abkühlen) und die damit verbundenen Volumenänderungen, erfassen auch hier zunächst immer die oberflächennahen Schichten und führen somit wieder zu vorübergehenden oder bleibenden Eigenspannungszuständen, die in krassen Fällen zur Craquelierung führen können.

3.4 Beispiele aus dem zahnärztlich-technischen Bereich

Bei der Verarbeitung zahnärztlicher Werkstoffe sind Volumenänderungen infolge von Abbindereaktionen und/oder Temperaturveränderungen sehr häufig wegen der in diesem Bereich vorherrschenden Formgebungstechnik, wonach zunächst fließfähige Materialien verarbeitet werden, die nach der Formung erhitzen. Sofern die Dimensionsänderungen behindert sind, was in der Regel der Fall ist, resultieren innere Spannungen und gegebenenfalls Eigenspannungen. Dazu einige Beispiele:

Kontrahiert etwa ein an den Löffelwandungen haftendes elastomeres Abformmaterial, so entstehen im Abdruck (Löffel + Material) Eigenspannungen, die die Abformnegative verzerren. Dabei werden die Lumina von Stümpfen durch die Kontraktion der Abformmasse zum Löffel vergrößert⁶; Kanten im Negativ werden abgeflacht, so daß bei der Abformung kantiger Gegenstände lokal extreme Abweichungen gegenüber dem Original auftreten können⁸.

Beim Modellieren einer Wachskrone behindert der Arbeitsstumpf die beträchtliche thermische Kontraktion des Wachses während der Abkühlung von der Verarbeitungstemperatur. Die Wachskrone gerät unter Dehnspannung, der Stumpf entsprechend unter Kompression. Beim Abheben des Wachsmodells kommt es nachweisbar zu einer spontanen Verkleinerung des Wachsmodells infolge Rückstellung. Danach ist das Wachsmodell aber nur

dann spannungsfrei, wenn während der behinderten Kontraktion ausschließlich elastische Deformationen im Wachs stattfanden. Wenn dagegen auch ortsabhängige plastische Änderungen auftraten, verbleiben in Analogie zu den Vorgängen bei der plastischen Biegung Eigenspannungen in der Wachskrone, wie es offenbar die Regel ist^{4, 7}.

Entsprechendes gilt für totale Prothesen, bei deren Herstellung die Polymerisationsschrumpfung und auch die thermische Kontraktion in der Kuvette wiederum nicht ungestört erfolgen können. Beim Ausbetten wird ein Teil der entstandenen Spannungen durch spontane Rückstellung abgebaut, wobei das Ausmaß der Veränderungen von der Größe der Volumeneffekte und damit entscheidend vom Herstellungsverfahren und Polymerisationstyp abhängig ist⁹; der Rest verbleibt als Eigenspannungen¹.

Auch beim Gießen z. B. einer Krone ist mit bleibenden Eigenspannungen im Gußstück zu rechnen, nicht nur wegen des Temperaturgefälles während des Abkühlens, sondern auch infolge der behinderten thermischen Kontraktion der Krone durch den Stumpf aus Einbettmasse, wenn deren Kontraktion gegenüber der der Gußlegierung verzögert ist³.

4 Auswirkungen von Eigenspannungen

4.1 Dimensionsänderungen

Beim Entformen eines verspannten Werkstückes, das ja mit seiner Form ein System mit Eigenspannungen, d. h. ein System sich gegenseitig blockierender Rückstellendenzen darstellt, kommt es zu spontanen Dimensionsänderungen des Werkstückes und damit im allgemeinen zu einer Beeinträchtigung der Präzision. Dies ist der Preis für die einfache Formgebungsmethode mit Hilfe fließfähiger Materialien.

Die spontane Rückstellung führt jedoch nicht notwendigerweise zu einem spannungsfreien Werkstück. Wie am Beispiel der Wachskrone oder der totalen Prothese aufgezeigt, verbleiben in der Regel Eigenspannungen, die nun ihrerseits Dimensionsänderungen des betroffenen Werkstückes bewirken können.

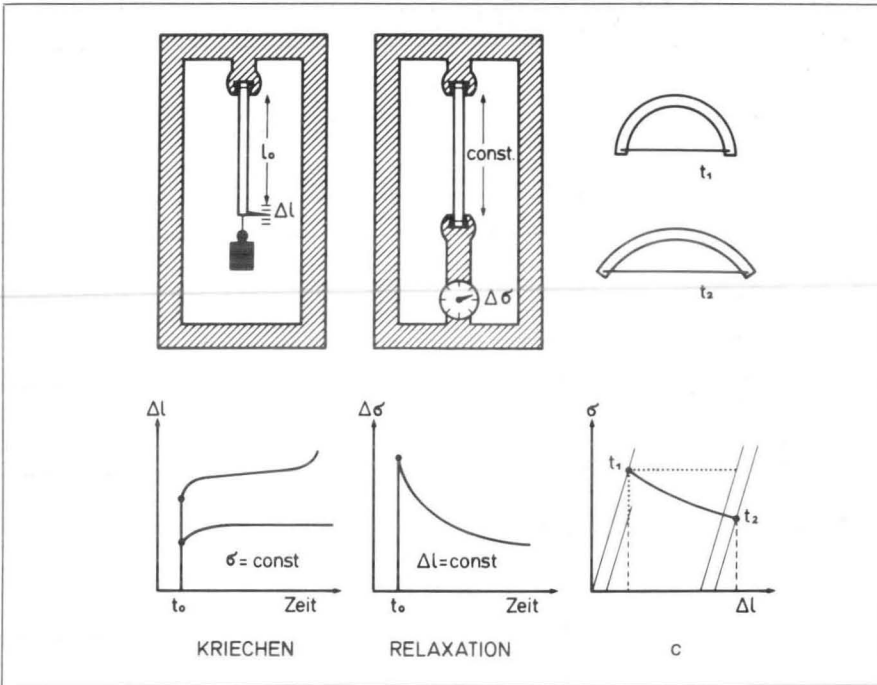


Abb. 6: Schema des Kriech- und Relaxationsversuches; bei kleinen Belastungen kann das Kriechen zum Stillstand kommen. Überlagerungen

von Kriech- und Relaxationseffekten im Spannungs-Verformungs-Diagramm am Beispiel einer erschlaffenden Sehne (c).

4.2 Kriechen und Relaxation

Reale Werkstoffe verhalten sich nicht ideal elastisch, d. h. auch bei Belastungen deutlich unterhalb der Proportionalitätsgrenze (Abb. 1) treten zeitabhängige plastische Deformationen auf. Allerdings sind diese Abweichungen vom Hooke'schen Verhalten oft so gering, daß sie zumindest bei kurzfristigen Belastungen vernachlässigt werden dürfen. Bei andauernden Belastungen, wie z. B. bei Eigenspannungszuständen, können dagegen plastische Effekte sehr wohl nachgewiesen werden.

Dieses reale Verhalten eines Werkstoffes wird unter zwei Grenzbedingungen geprüft (Abb. 6):

- Man beobachtet die Deformation, z. B. die Dehnung im Zugversuch, bei konstanter Belastung als Funktion der Zeit: der spontanen elastischen Deformation addiert sich eine stetig zunehmende plastische Deformation, die schließlich zum Bruch der Probe führt. Dieses Verhalten wird als *Kriechen* bezeichnet. Bei einigen Werkstoffen und hinreichend kleinen Belastungen kann die mit der plastischen Deformation verbundene Verfestigung allerdings zu einem Stillstand des Kriechens führen.

- Man mißt die (Zug-)Spannung bei konstanter Deformation als Funktion der Zeit: die zur Aufrechterhaltung der Deformation erforderliche Spannung nimmt ab, ohne jedoch den Wert Null zu erreichen. Dieser als *Relaxation* bezeichnete Spannungsabbau ist ebenfalls auf plastische Veränderungen zurückzuführen, in dem der plastische Anteil der Gesamtverformung auf Kosten der elastischen Deformation zunimmt (Abb. 1).

In den meisten Fällen befindet sich ein Werkstück nicht in einem der beiden Grenzfälle. Findet z. B. ein Kriechen in der Sehne (Abb. 6c) statt, so bedingt die damit verbundene Längenzunahme gleichzeitig auch einen Spannungsabbau im Stab. Kriecheffekte und Relaxation überlagern sich: die Relaxation von Eigenspannungen führt dann immer auch zu Dimensionsänderungen.

Die geschilderten Vorgänge laufen um so schneller ab, je höher die Versuchstemperatur in Relation zur Schmelztemperatur ist. Das macht verständlich, daß bei Raumtemperatur die Effekte an Wachsmodellen innerhalb weniger Stunden beobachtet werden können, während sich z. B. Edelmetalllegierungen im klinischen Einsatz über Jahre als praktisch dimensionsstabil

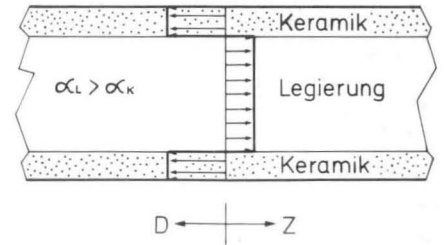


Abb. 7: Spannungszustand eines beidseitig verbündeten Legierungsplättchens nach dem Abkühlen bei größerem thermischen Ausdehnungskoeffizienten α_L der Legierung.

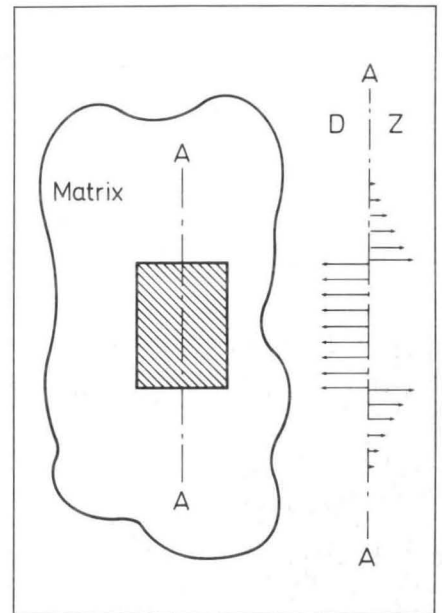


Abb. 8: Eigenspannungen 2. Art: Ein zu „grobes“ Füllstoffteilchen gerät unter Druckspannung, die benachbarte Matrix unter Zugspannung.

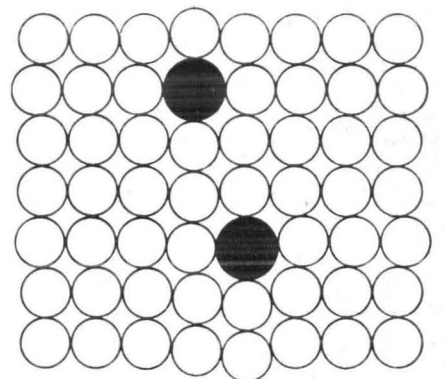


Abb. 9: Eigenspannungen 3. Art resultieren aus Störungen der Kristallgittersymmetrie z. B. durch größere Fremdatome.

erweisen. Bei hohen Temperaturen dagegen, etwa beim Oxidationsglühen zur Vorbereitung einer keramischen Verblendung, verursachen beim Gießen induzierte Eigenspannungen innerhalb weniger Minuten deutliche Verziehungen einer Metallkrone².

Es fehlt nicht an Hinweisen und Versuchen, z. B. durch Belassen der Wachsmo-
delle auf dem Arbeitsmodell oder durch Verzögerung der Ausbettung totaler Prothesen einen Abbau der inneren Spannungen unter Beibehalten der Form zu erreichen, um auf diese Weise sowohl die Rückstelleffekte beim Entformen als auch die verbleibenden Eigenspannungszustände zu reduzieren. Bei der Wachsentspannung ist dann aber sicherzustellen, daß das Kronenmodell seine feste und damit formstabilisierende Position auf dem Arbeitsstumpf nicht verliert, eine Forderung, die nicht ohne weiteres realisiert ist⁷.

4.3 Weitere Effekte

Dimensionsänderungen sind nur eine, wenn auch im Bereich der zahnärztlichen Technik die am meisten interessierende Folge von Spannungszuständen im Inneren eines Werkstückes. Eigenspannungen beeinflussen aber viele Eigenschaften: Sie setzen den Korrosionswiderstand von Metallen und Legierungen herab (Spannungsrißkorrosion), beeinflussen die optischen Eigenschaften transparenter Werkstoffe (Spannungsoptik) und verändern die mechanischen Eigenschaften, da sich innere und äußere Spannungen überlagern; so wird bei äußerer Zugbelastung in Bereichen mit Zugeigenspannungen die Proportionalitätsgrenze früher, in solchen mit Druckeigenspannungen dagegen erst später erreicht.

Da keramische Massen als sprödbrechende Materialien besonders empfindlich gegen Zugbelastungen sind, wird bei metallkeramischen Werkstücken ganz bewußt ein Eigenspannungszustand angestrebt, wobei durch eine geringfügig größere thermische Kontraktion des Metallgerüsts die Kera-

mikverblendschicht unter Druckspannung, das Gerüst entsprechend unter Dehnspannung gerät (Abb. 7).

5 Eigenspannungen 2. und 3. Art

Die bis jetzt besprochenen Eigenspannungen erstrecken sich über große, makroskopische Bereiche des Werkstückes. Man spricht von *Eigenspannungen 1. Art*.

Kleine Spannungsfelder mit mikroskopischer Ausdehnung können auftreten in der Umgebung von Einschlüssen, Füllstoffpartikeln oder Ausscheidungen in einer Matrix (*Eigenspannungen 2. Art*). Hat etwa ein Füllstoffteilchen (z. B. Glas in einem Komposit) bei einer Temperaturniedrigung eine kleinere Kontraktion erfahren als die Matrix (Kunststoff), so entstehen in seinem Inneren Druckspannungen, während die benachbarte Matrix unter Zugspannungen gerät, die jedoch mit zunehmendem Abstand vom Partikel bald abfallen (Abb. 8). Entsprechendes gilt, wenn bei einem Ausscheidungsvorgang die ausgeschiedene Phase einen anderen Volumenbedarf hat als die Matrix.

Spannungsfelder in der Umgebung von Fremdatomen in einem Kristallgitter (Abb. 9) werden als *Eigenspannungen 3. Art* bezeichnet. Wie die Ausscheidungen in Legierungen (Vergüten) beeinträchtigen die Spannungsfelder von Fremdatomen (Zulegieren zu einem Reinmetall) die Gleitmöglichkeiten im Kristall und erschweren somit die plastische Deformierbarkeit der Legierung.

6 Schlußbemerkung

Dieser Beitrag zeigt, welche weite Verbreitung innere Spannungen auch im Bereich der dentalen Technologie haben, gibt es doch praktisch keinen Werkstoff, bei dessen Verarbeitung in Praxis oder Labor nicht zumindest vor-

übergehend Spannungszustände auftreten. In den meisten Fällen sind die damit verbundenen Effekte unerwünscht, da sie insbesondere die Präzision des Zahnersatzes und damit seine Funktionstüchtigkeit beeinträchtigen.

Ursache der Spannungen sind behinderte Volumenänderungen. Die Spannungszustände sind dann um so ausgeprägter, je größer die Änderungsgeschwindigkeit ist. Eigenspannungen können minimalisiert werden, wenn möglichst volumenstabile Werkstoffe benutzt und die die Volumenänderungen verursachenden Vorgänge (Reaktionen, Temperaturänderungen) nicht forciert werden.

Literatur

- 1 *Bawendi, B.*: Das Formverhalten von im Spritzverfahren hergestellten totalen Kunststoffprothesen. Dtsch. zahnärztl. Z. 30, 94 (1975)
- 2 *Freemeyer, W. B., Hambrock, J. und Körber, E.*: Dimensionsänderungen an verblendeten Kronen. Dtsch. zahnärztl. Z. 34, 190 (1979)
- 3 *Marxkors, R. und Meiners, H.*: Taschenbuch der Zahnärztlichen Werkstoffkunde. Carl Hanser Verlag, München 1978
- 4 *Meiners, H. und Unland, H.*: Einfluß der thermischen Wachsentspannung auf die Paßgenauigkeit von Gußkronen. Dtsch. zahnärztl. Z. 30, 116 (1975)
- 5 *Meiners, H. und Böcker, L.*: Die Ungenauigkeit der Kunststoffbasen totaler Prothesen. Dental Labor 24, 1375 (1976)
- 6 *Meiners, H.*: Eigenschaft und Genauigkeit von elastomeren Abformmaterialien (Polysulfide, Silikon, Polyäther). Zahnärztl. Welt 87, 426 (1978)
- 7 *Meiners, H. und Schult, W.*: Einfluß der Wachsentspannung bei Raumtemperatur auf die Paßgenauigkeit von Gußkronen. Dtsch. zahnärztl. Z. 33, 489 (1978)
- 8 *Meiners, H., Marxkors, R. und Wronska-Golda, M.*: Ungenauigkeiten bei der Abformung kantiger Gegenstände. Dtsch. zahnärztl. Z. 35, 917 (1980)

Anschrift des Verfassers:

Prof. Dr. rer. nat. Hermann Meiners
Abteilung für zahnärztliche Prothetik
der Poliklinik und Klinik für Zahn-,
Mund- und Kieferkrankheiten der
Westfälischen Wilhelms-Universität,
Waldeyerstraße 30, 4400 Münster