

wissen kompakt 2009 · 3:3–13  
 DOI 10.1007/s11838-009-0079-y  
 © Springer Medizin Verlag und Freier Verband  
 Deutscher Zahnärzte e.V. 2009



#### CME-Punkte sammeln in 3 Schritten

##### 1. Registrieren

Als Mitglied des FVDZ registrieren Sie sich bitte zuerst unter [www.fvdz.de](http://www.fvdz.de). Nach der Zusendung Ihrer persönlichen Zugangsdaten können Sie sich für alle weiteren Teilnahmen unter [CME.springer.de](http://CME.springer.de) einloggen.

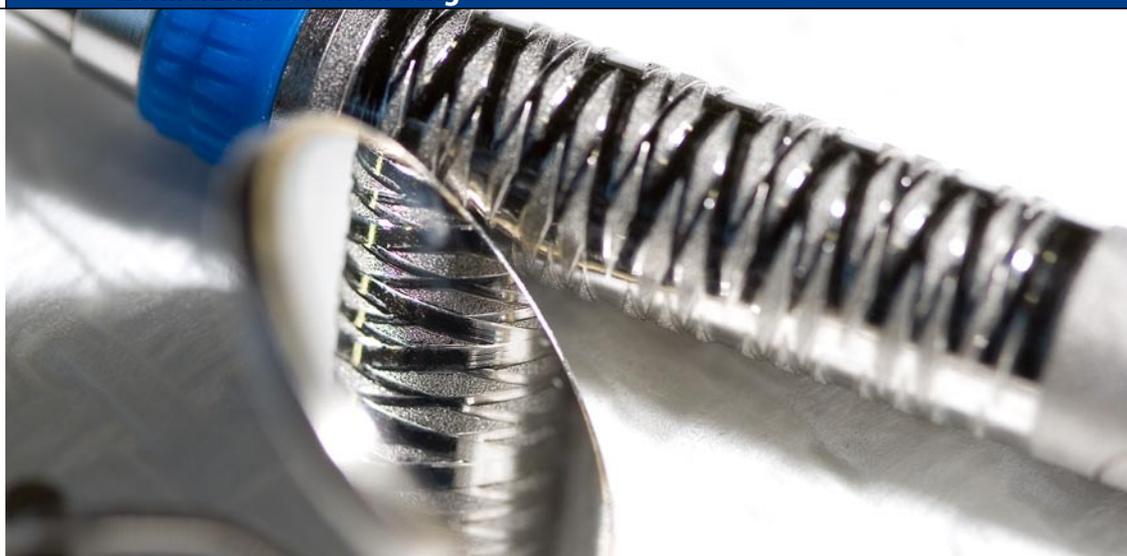
##### 2. Teilnehmen

Nach der Anmeldung unter [CME.springer.de](http://CME.springer.de) können Sie eine Fortbildungseinheit von „wissen kompakt“ auswählen und diese dann online bearbeiten.

##### 3. CME-Punkte sammeln

Nach erfolgreicher Beantwortung von mindestens 7 der 10 Multiple-Choice-Fragensenden wir Ihnen umgehend eine Teilnahmebestätigung per E-Mail zu, die die zwei CME-Punkte pro Teilnahme ausweist.

Das Fortbildungsangebot der Zeitschrift „wissen kompakt“ wird in Kooperation mit dem Freien Verband Deutscher Zahnärzte e.V. nach den Leitsätzen der Bundeszahnärztekammer zur zahnärztlichen Fortbildung einschließlich der Punktebewertung von BZÄK/DGZMK erstellt. Pro Fortbildungseinheit können 2 Fortbildungspunkte erworben werden.



M. Jungo<sup>1</sup> · F. Schmidli<sup>1</sup> · B. Müller<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Institut für Werkstoffwissenschaft, Technologie und Propädeutik,  
 Department Zahnmedizin, Universität Basel

<sup>2</sup> Biomaterials Science Center, Universität Basel

## Materialunverträglichkeit

### Auswirkungen in der Mundhöhle und deren Diagnostik

#### Zusammenfassung

In der rekonstruktiven Zahnheilkunde werden Metalle, (Glas-)Keramiken und Polymere verwendet. Metalle sowie deren Legierungen, Kunststoffe, Keramiken und Zemente sind die in der festsitzenden und abnehmbaren Prothetik vorherrschenden Werkstoffe. Für den langfristigen Erfolg einer Rekonstruktion sind nicht nur das fachliche Können von Zahnarzt und Zahntechniker und die Erhaltungstherapie durch den Patienten entscheidend, sondern in besonderem Maße auch die Verarbeitungsqualität der verwendeten Werkstoffe. Viele prothetische Misserfolge sind auf nicht korrekte Verarbeitung der Materialien zurückzuführen. Insbesondere Metalle und deren Legierungen neigen bei fehlerhafter Verarbeitung zu verstärkter Korrosion in der Mundhöhle. Diese kann sowohl am Zahnersatz wie auch den beteiligten Strukturen der Hart- und Weichgewebe zu Problemen führen. Da Metalle in den prothetischen Werkstoffen ubiquitär vorkommen, ist deren sachgemäßer Verarbeitung große Aufmerksamkeit zu schenken. Metalle kommen nicht nur in den Metallen und Legierungen selbst vor, sondern auch in Form von Oxiden in Keramiken, Kunststoffen und Zementen. Durch korrosive Vorgänge aus prothetischen Werkstoffen gelöste Metalle können zu schweren Schäden führen. Gerade in der Mundhöhle sind diese Schäden nicht immer einfach als werkstoffliche Ursache zu erkennen und werden häufig mit Mundschleimhauterkrankungen verwechselt. Mit geeigneten Untersuchungsmethoden lassen sich die Ursachen diesen Schäden zuordnen. Das „Biomaterials Science Center“ (BMC) der Universität Basel und das Institut für Werkstoffwissenschaft, Technologie und Propädeutik am Department Zahnmedizin der Universität Basel befassen sich seit Jahren mit Untersuchungen und Diagnostik von materialbedingten Schadensfällen in der Mundhöhle und unterhalten eine Sprechstunde für die Diagnose und Beratung bei Problemen im Zusammenhang mit zahnärztlichen Werkstoffen.

#### Schlüsselwörter

Materialunverträglichkeit · Materialbedingte Misserfolge · Metalle und Legierungen · Korrosion · Patientenberatung

**Der Patient stellt an seinen Zahnersatz große funktionelle und ästhetische Ansprüche und erwartet eine lange Lebensdauer der Rekonstruktionen. Gerade die Lebensdauer des Zahnersatzes wird in hohem Maße durch die Materialwahl und deren Verarbeitung bestimmt. Falsche und unsachgemäße Verarbeitung kann zu Schäden am Zahnersatz selbst, aber auch an den beteiligten Strukturen führen. Da nach wie vor Metalle und Legierungen die vorherrschenden Werkstoffe sind, kommt deren Einsatz eine ungemein wichtige Bedeutung zu. Ziel dieser Arbeit ist es, dem Leser aufzuzeigen, wie Symptome einer unsachgemäßen Verarbeitung insbesondere von Metallen und Legierungen sich in der Mundhöhle der Patienten äußern und wie beim Vorliegen derartiger Symptome vorgegangen werden sollte.**

Die restaurative Zahnheilkunde basiert auf einer Vielzahl verschiedener Werkstoffe, die eingesetzt werden, um fehlende und zerstörte Zahnschubstanz zu ersetzen. Weitere Materialien dienen als Hilfsmittel und verbleiben nur begrenzte Zeit in der Mundhöhle. Die verwendeten Materialien, die über ausgedehnte Perioden in der Mundhöhle bleiben, dürfen dem Patienten keinen zusätzlichen Schaden zufügen. Obwohl sie in der Mundhöhle z. T. einem belastenden Milieu und extremen mechanischen Belastungen ausgesetzt sind, müssen sie gut biokompatibel sein [1].

Biologische Unverträglichkeiten der zahnärztlichen Werkstoffe spiegeln sich in unerwünschten Reaktionen bei Patienten wider. Selbstverständlich spielt auch die individuelle Sensibilisierung des Patienten eine Rolle in der Verträglichkeit, aber nur die Verwendung biokompatibler Werkstoffe garantiert die Nichtreaktion des Patienten auf die verwendeten Materialien. Neben der Verwendung biokompatibler Werkstoffe sind jedoch auch die korrekte und sachgemäße Herstellung und Verarbeitung dieser Werkstoffe für den schadenfreien Einsatz in der Mundhöhle entscheidend. Durch unsachgemäße Behandlung können auch gut biokompatible Materialien derart verändert werden, dass sie zur Belastung des Patienten führen. Zahnarzt und Zahntechniker müssen wissen, welche Werkstoffe für den Einsatz in der Mundhöhle geeignet sind und wie sie zu be- und verarbeiten sind. Die unübersehbare Fülle der verschiedenen zahnärztlichen Werkstoffe und das riesige Angebot an modernen Technologien und Verarbeitungssystemen überfordern Zahnarzt und Zahntechniker jedoch häufig. Allein für die Kronen-Brücken-Prothetik sind im Dentalhandel über 700 Gusslegierungen erhältlich. Darin nicht enthalten sind alle übrigen in der rekonstruktiven Zahnmedizin benötigten Werkstoffe.

Diese Werkstoffe lassen sich wie folgt in die wichtigsten Gruppen einteilen:

- Metalle und Metalllegierungen,
- Keramiken und Glaskeramiken,
- Kunststoffe,
- Zemente.

Alle diese Materialien enthalten Metalle, die jedoch unterschiedlich gebunden sind. Speziell an der Oberfläche treten sie als Oxid auf, wobei die primären Metalleigenschaften nicht unmittelbar sichtbar sind. Überall, wo mechanische Stabilität, hohe Bruchfestigkeit, elastisches Verhalten und Dauerhaftigkeit gefragt sind, kommen Metalle zum Einsatz. Die Metalle und ihre Legierungen unterliegen jedoch in stärkerem Maße der Korrosion [2, 3] als die stabileren Oxide. Korrosion nennt man die sichtbare Zerstörung bzw. den Zerfall eines Metalls oder einer Metalllegierung durch die Reaktion mit der Umgebung. Korrosion an Metallteilen erfolgt innerhalb und außerhalb der Mundhöhle bei allen Patienten. Die individuellen Unterschiede bedingen jedoch verschiedene **► Korrosionsraten** und Korrosionspfade. So werden Metallionen freigesetzt, welche zu ganz unterschiedlichen Reaktionen führen. Veränderungen an den beteiligten Strukturen (Gingiva, Parodont, Zähne, Zahnersatz) sind die Folge [4]. Die Schwere der Reaktion hängt vom Grad der Korrosion und der individuellen Sensibilisierung des Patienten ab. Auf die individuelle Sensibilisierung können Zahnarzt und Zahntechniker kaum Einfluss nehmen, sondern müssen beispielsweise Allergologen zu Rate ziehen. Der Grad der Korrosion wird jedoch fast ausschließlich durch Zahnarzt und Zahntechniker beeinflusst. Bei der Materialauswahl und Bearbeitung sind Zahnarzt und Zahntechniker gefordert. Die **► Medizinprodukteverordnung** sieht den Zahnarzt als Hauptverantwortlichen für den korrekten Einsatz und die Verwendung des prothetischen Zahnersatzes vor. Er trägt als Auftraggeber für den Zahntechniker letztlich auch für dessen Arbeit Verantwortung.

Die Materialien, die über ausgedehnte Perioden in der Mundhöhle bleiben, dürfen dem Patienten keinen zusätzlichen Schaden zufügen

Nur die Verwendung biokompatibler Werkstoffe garantiert die Nichtreaktion des Patienten auf die verwendeten Materialien

Die Metalle und ihre Legierungen unterliegen in stärkerem Maße der Korrosion als Oxide

► **Korrosionsraten**

► **Medizinprodukteverordnung**



**Abb. 1** ▲ Farbveränderungen bukkal der VMK-Krone 24

Im Schadensfall ist es für den Zahnarzt wichtig, Untersuchungsmethoden zu kennen und anzuwenden, welche erlauben, die Ursache für das Versagen richtig zu diagnostizieren. Die Universität Basel unterhält seit Jahren eine Sprechstunde und bietet eine Diagnostik an, welche die Verdachtsdiagnose einer möglichen Materialreaktion klären kann. Diese Untersuchungsmethoden, wie z. B. die ► **quantitative Legierungsanalyse** mittels Splittertest [5], oder die Atom-Absorptionsspektrometrie zur qualitativen Analyse von Metallen und Legierungen [4], gehören seit Jahren zum Standard. Neue Untersuchungsmethoden, wie die ► **intraorale Korrosionsmessung** mittels EC-Pen [6, 7, 8] wurden

in Zusammenarbeit mit Partnern aus Industrie und Hochschule für den zahnärztlichen Bedarf angepasst und weiterentwickelt. Nach erfolgter Analyse erhalten der Patient und sein Zahnarzt einen Kurzbericht mit Kommentar oder sogar ein qualifiziertes Gutachten.

## Symptome

Die Symptome einer Materialunverträglichkeit können sehr unterschiedlich sein und sind nicht immer als solche leicht zu erkennen. Verwechslungen mit anderen Erscheinungsbildern, insbesondere mit parodontalen und Mundschleimhauterkrankungen sind möglich. Bei Verdacht auf eine Materialunverträglichkeit muss immer differenzialdiagnostisch nach dem Ausschlussverfahren vorgegangen werden. Die Symptome einer Materialunverträglichkeit lassen sich in zwei Hauptgruppen einteilen:

Objektive Symptome sind klinisch und/oder röntgenologisch nachweisbar. Ihre Manifestationen sind am Zahnersatz selbst und/oder an den umgebenden Strukturen ersichtlich. In seltenen Fällen können sich diese Symptome auch außerhalb der Mundhöhle äußern und zu Beschwerden Anlass geben. Objektive Symptome sind:

- Schleimhautveränderungen (Farb- und Formveränderungen),
- Gingivitis,
- Parodontitis,
- Verfärbungen von Hart- und Weichgeweben,
- Zerstörungen und Nekrosen von Hart- und Weichgeweben,
- Schäden am Zahnersatz.

► **Subjektive Symptome** sind klinisch und/oder röntgenologisch nicht nachweisbar. Sie werden vom Patienten geäußert. Ihr Nachweis hat über spezielle Untersuchungsmethoden zu erfolgen. Zu den subjektiven Symptomen zählen:

- Geschmacksirritationen (insbesondere Metallgeschmack),
- Schleimhaut- und Zungenbrennen,
- Irritationen der Schleimhäute und Lippen (Veränderung der Sensibilität, Dickegefühl),

### ► Quantitative Legierungsanalyse

### ► Intraorale Korrosionsmessung

Bei Verdacht auf eine Materialunverträglichkeit muss differenzialdiagnostisch nach dem Ausschlussverfahren vorgegangen werden

### ► Subjektive Symptome

Hier steht eine Anzeige.



Abb. 2 ▲ Veränderte, marginale Gingiva bei VMK-Krone 21

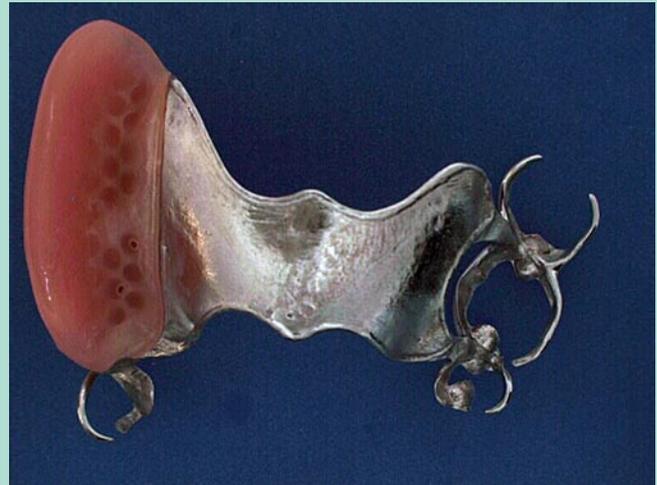


Abb. 3 ▲ Brennen, Hitzegefühl und Unwohlsein sind die geäußerten Symptome des Patienten bei Tragen der Prothese

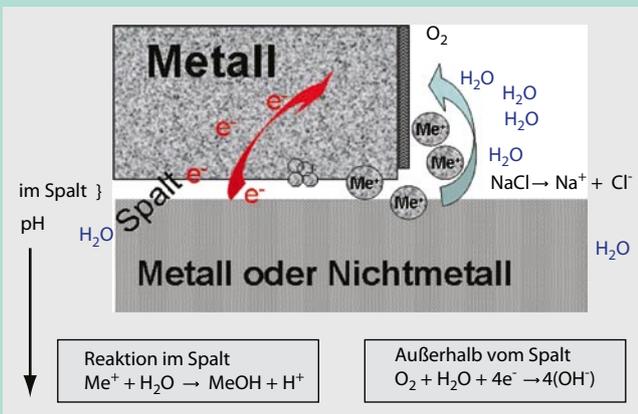


Abb. 4 ▲ Ausgewählte chemische Reaktionen während der Spaltkorrosion

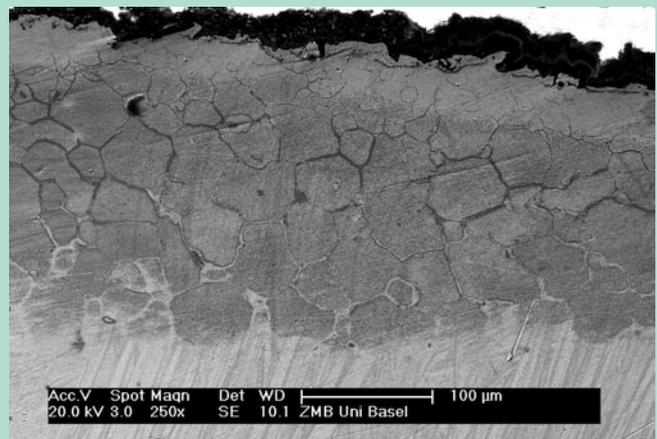


Abb. 5 ▲ Korrosive Veränderungen am metallenen Kronenrand

#### ► Farbveränderung der Gingiva

- Fremdkörpergefühl,
- lokalisierte und generalisierte Schmerzen im Kiefer-Gesichts-Bereich,
- Spannungsgefühl (Zahnersatz löst „Batteriegefühl“ aus),
- Gefühl der Mundtrockenheit.

In **Abb. 1** ist bukkal der VMK-Krone 24 eine **► Farbveränderung der Gingiva** zu sehen. Der Patient äußert keine Beschwerden. Klinisch und röntgenologisch sind keine weiteren Veränderungen feststellbar. Differenzialdiagnostisch könnte es sich um die folgenden Symptome handeln:

- Amalgamtätowierung,
- Pigmentflecken,
- Hämangiom,
- Materialunverträglichkeit.

**Abb. 2** zeigt ebenfalls eine veränderte Gingiva im Bereich des Margo der Krone 21 und starke Blutung bei Sondierung ohne vertiefte Taschenbildung. Differenzialdiagnostisch ist Folgendes abzuklären:

- Passungenauigkeit der Krone 21,
- Zementreste oder Zahnstein unter der Gingiva bukkal 21,
- Materialunverträglichkeit.



**Abb. 6** ▶ Spaltbildungssituation bei Primär-, Sekundär- und Tertiärstrukturen

Der Träger dieser Prothese in **Abb. 3** äußert, dass seit dem Einsetzen dieser Modellgussprothese Symptome wie Brennen, Hitzegefühl und Unwohlsein auftreten. Klinisch sind keine Symptome nachweisbar. Der Patient klagt, dass sich diese Beschwerden derart steigern, dass die Teilprothese nicht dauernd getragen werden kann. Differenzialdiagnostisch sind nebst der Materialunverträglichkeit auf die Gusslegierung, die Prothesenunverträglichkeit psychischer Genese und die Reaktion auf den verwendeten Kunststoff, insbesondere die darin enthaltenen ▶ **Monomere** zu berücksichtigen.

## Pathogenese

Metalle und Legierungen sind die in der rekonstruktiven Zahnheilkunde meist verwendeten Werkstoffe. Da Metalle in Oxidform in allen zahnärztlichen Materialien vorkommen, sind sie omnipräsent. In wässrigen Umgebungen zeigen Metalle Korrosionserscheinungen. Die Korrosionsprodukte können bei entsprechend sensibilisierten Patienten zu den oben genannten Symptomen führen. Der Grad der Korrosion ist von der Herstellung und Bearbeitung abhängig.

In **Abb. 4** ist das korrosive Geschehen schematisch dargestellt. Innerhalb und außerhalb der Mundhöhle erfolgt die Korrosion nach vergleichbaren Mustern. Zwei unterschiedliche Materialien befinden sich in unmittelbarer Nachbarschaft. Einer der Partner besteht aus einem Metall oder einer Metalllegierung. Der andere Partner kann, muss jedoch nicht, aus einem Metall oder einer Metalllegierung sein. Zwischen beiden Partnern liegt ein schmaler Spalt. Ein Spalt, sei er noch so klein, ist technisch bedingt vorhanden. Den „Nullspalt“ gibt es auch bei präfabrizierten verschraubten Teilen nicht. Das immer feuchte Milieu der Mundhöhle begünstigt die Korrosion zumindest von einem der beiden Partner. Auch außerhalb der Mundhöhle können die zahnärztlichen Materialien korrodieren, weil es immer eine gewisse Luftfeuchtigkeit gibt. Aufgrund der fehlenden Belüftung mit Sauerstoff kommt es im Spalt zum Absinken des pH-Wertes. Die in der Folge entstehende Säure löst einen oder beide metallischen Komponenten an oder sogar auf. Die so gebildeten ▶ **Metallionen** wandern sehr schnell. In der Regel werden sie vom Körper ausgeschieden. Sie können sich aber – insbesondere durch die Vermittlung chemischer Reaktionen – an Stellen im menschlichen Körper anreichern und zu Unverträglichkeitsreaktionen führen.

Nebst der Bildung von Metallionen, kommt es auch zur Bildung von ▶ **negativ geladenen OH-Ionen**, die für den von den Patienten häufig geäußerten Metallgeschmack verantwortlich sind.

Die Korrosion zeigt sich unter dem Rasterelektronenmikroskop als typisches Rauheitsmuster. **Abb. 5** zeigt den durch Korrosion aufgelösten Kronenrand einer Metallkeramikkrone. Was wie eine „Deltalandschaft“ einer Flussmündung aussieht, ist nichts anderes als durch Korrosion herausgelöstes Metall der Kronenlegierung. Die Ablagerung der Metallionen an anderer Stelle, z. B. Gingiva, Parodont, Zahnhartsubstanz, Schleimhaut usw. kann zu den beschriebenen Symptomen führen. Durch die Korrosion kommt es auch zu einer Schwächung des Zahnersatzes selbst. Schäden am Zahnersatz äußern sich in Form von Verfärbungen, Absplitterungen und Frakturen.

Die Situation der 2 Komponenten mit einem dazwischen liegenden Spalt ist in der Mundhöhle häufig anzutreffen. Die typischen Spaltsituationen in der Mundhöhle sind:

- Gingivasulkus (Kronenränder),
- Grenzspalt zwischen Zahn und Rekonstruktion,

### ▶ Monomere

Metalle und Legierungen sind die in der rekonstruktiven Zahnheilkunde meist verwendeten Werkstoffe

Das immer feuchte Milieu der Mundhöhle begünstigt die Korrosion

### ▶ Metallionen

### ▶ Negativ geladene OH-Ionen

Schäden am Zahnersatz äußern sich in Form von Verfärbungen, Absplitterungen und Frakturen

Das korrosive Geschehen ist wesentlich von der Herstellung sowie der Ver- und Bearbeitung der Werkstücke abhängig

- ▶ **Lichtoptische Untersuchung**
- ▶ **Rasterelektronenmikroskop**

Farbveränderungen und Rauigkeiten sind Zeichen von Korrosion am Metall

**Tab. 1** Untersuchungsmethoden und Anwendungsgebiete für Materialunverträglichkeiten

Untersuchungsmethode	Anwendungsgebiet
Lichtoptische Untersuchung	Oberflächliche Zustandsanalyse, grobe Verarbeitungskontrolle
Rasterelektronenmikroskopie (REM)	Detaillierte Analyse der Verarbeitung, Korrosionskontrolle
Splittertest (EDX)	Legierungsbestimmung
Atom-Absorptions-Analyse (AAS)	Quantitative und qualitative Analyse von Hart- und Weichgeweben
Schliffanalyse	Gusskontrolle, Körnigkeit
Bruchflächenanalyse	Ursachenbestimmung von Frakturen
EC-Pen	Intraorale Korrosionsmessung

- Grenzspalt zwischen Metall und Keramik oder Kunststoff,
- Grenzspalt bei bedingt abnehmbaren Suprastrukturen auf Implantaten (Verschraubungen),
- Doppelkronen,
- Lötstellen aller Art.

▣ **Abb. 6** zeigt eine typische Spaltsituation bei bedingt abnehmbaren Konstruktionen mit Primär-, Sekundär- und Tertiärteilen.

Nicht bei allen Patienten äußert sich die Korrosion gleichermaßen. Das korrosive Geschehen ist aber wesentlich von der Herstellung sowie der Ver- und Bearbeitung der Werkstücke insbesondere durch den Zahntechniker abhängig. Das Abweichen von etablierten Prozessen führt oft ungewollt zu internen Grenzflächen und lokalen Spalten und fördert deshalb die Korrosion an den Konstruktionen. Unsorgfältiges Abformen und Zementieren durch den behandelnden Zahnarzt haben ähnliches Gewicht und können ebenfalls die Korrosionsprozesse fördern.

### Patientenbezogene Untersuchungsmethoden

Die Diagnostik einer Materialunverträglichkeit ist nicht immer einfach. Die Symptome einer Unverträglichkeitsreaktion auf zahnärztliche Materialien können mit anderen Krankheitsbildern, insbesondere mit Parodontopathien und Mundschleimhauterkrankungen verwechselt werden. Die Differenzialdiagnose ist deshalb von großer Bedeutung. Bei Verdacht auf eine Unverträglichkeitsreaktion auf einen zahnärztlichen Werkstoff geht es letztlich meist darum, die folgenden Fragen zu klären:

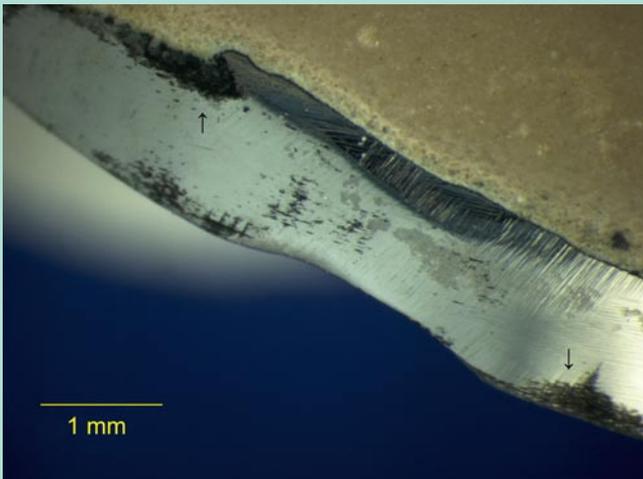
- Weshalb ist es zu dieser Reaktion gekommen?
- Muss die Arbeit, welche diese Reaktion herbeigeführt hat, ersetzt werden?
- Wer kommt für die entstehenden Kosten auf?

Die Universität Basel bietet Untersuchungsmethoden an, die helfen, die Fragen zu beantworten. Diese Untersuchungsmethoden und die zugehörigen Anwendungsgebiete sind in ▣ **Tab. 1** zusammengestellt.

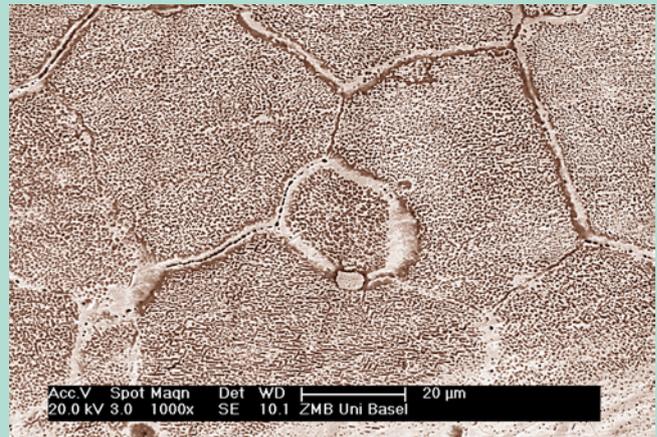
Mit der ▶ **lichtoptischen Untersuchung** sind oberflächliche Veränderungen an Rekonstruktionen meist gut sichtbar. Zu diesen Veränderungen gehören Farbe und Rauigkeit (Glanz). Im ▶ **Rasterelektronenmikroskop** lässt sich die Verarbeitungsqualität einer Restauration detailliert ausmessen, weil man selbst bei einer hohen Ortsauflösung noch eine sehr gute Tiefenschärfe hat. Aussagen über die Herstellung und Bearbeitung sind möglich, aber auf die Informationen an der Oberfläche beschränkt.

▣ **Abb. 7** zeigt ein lichtoptisches Bild des Randes einer VMK-Krone bei 30facher Vergrößerung. Am Übergang Metall-Keramik sind deutliche Veränderungen zu erkennen. Farbveränderungen (schwarz, blau, matte Oberfläche) und Rauigkeiten sind Zeichen von Korrosion am Metall. Am metallenen Kronenrand sind ebenfalls Veränderungen in Form von Farbänderungen und Oberflächenveränderungen zu sehen. Der Kronenrand ist teilweise aufgelöst. In ▣ **Abb. 8** ist derselbe Kronenrand bei 1000facher Vergrößerung im Rasterelektronenmikroskop zu sehen. Die Korrosionsstruktur ist deutlich sichtbar. Eine Reparaturmöglichkeit, bei Beschwerden des Patienten, besteht nicht.

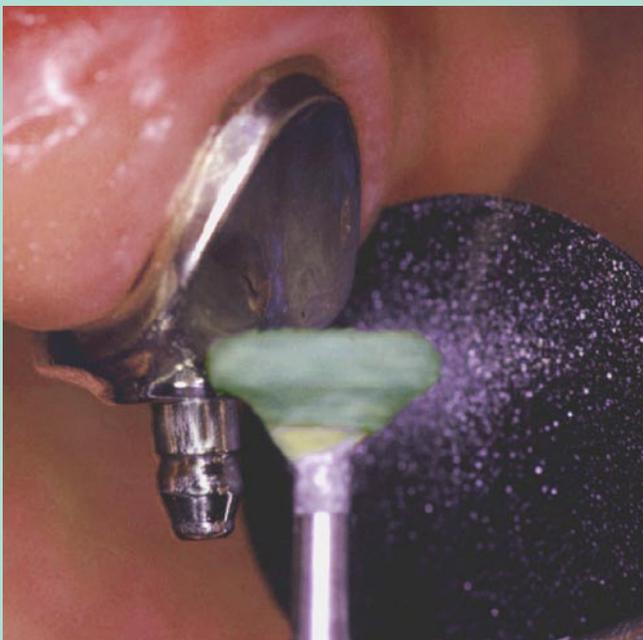
Die Rasterelektronenmikroskopie hat den Nachteil, dass das Untersuchungsgut für die Untersuchung extraoral vorliegen muss. Eine Untersuchung kann nur stattfinden, wenn es aus der Mund-



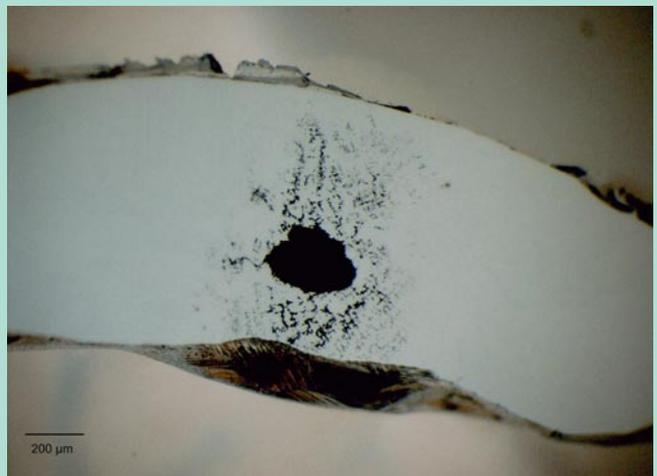
**Abb. 7** ▲ Lichtoptische Abbildung des Kronenrandes einer VMK-Krone. Die korrosionsbedingten Veränderungen sind durch Pfeile gekennzeichnet



**Abb. 8** ▲ Rasterelektronenmikroskopie am Kronenrand der VMK-Krone



**Abb. 9** ▲ Splitterentnahme für EDX zur Legierungsanalyse



**Abb. 10** ▲ Schliffanalyse eines zahnmedizinischen Gusses. Der Guss ist insuffizient und weist Einschlüsse und Gusslunker auf

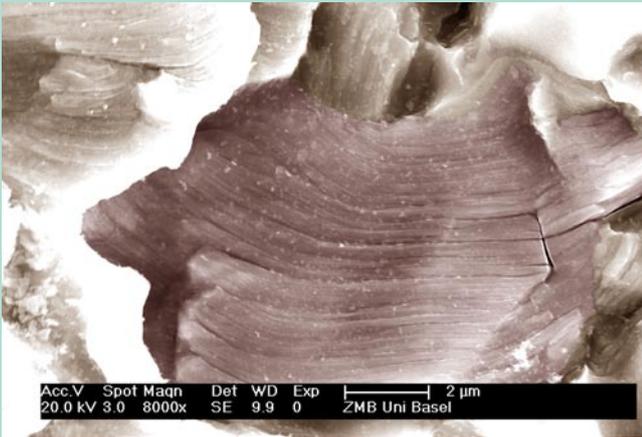
höhle entfernt werden kann. Häufig ist dies nur zerstörend möglich. Deshalb setzt man den ► **Splittertest** ein. ■ **Abb. 9** zeigt die Vorgehensweise zur Entnahme von Splitterproben. Mit einem sauberen, unbenutzten Karborundstein werden ohne Spraykühlung Splitter der zur untersuchenden Rekonstruktion auf einem graphitierten Plättchen aufgefangen. Diese Splitter werden in einem Elektronenmikroskop mit Hilfe der ► **Energie-dispersiven Röntgenstrukturanalyse (EDX)** untersucht, um die Zusammensetzung der Splitter quantitativ zu ermitteln. Die Analyse liefert die Zusammensetzung der Legierung mit einer Genauigkeit von einigen wenigen Prozent und erlaubt deshalb auch Rückschlüsse auf den Hersteller. Dieses Ergebnis ist oft ausreichend, um einen Zusammenhang zu den Problemen des Patienten herstellen zu können.

Die Korrosionsprozesse an sich können allerdings mit der EDX oder dem Splittertest nicht ermittelt werden. Entnimmt man zusätzlich eine Probe des umliegenden Gewebes und führt daran z. B. die ► **Atom-Absorptions-Spektrometrie (AAS)** durch, um die Zusammensetzung mit hoher Empfindlichkeit zu bestimmen, erhält man Aussagen über die Korrosionsprozesse. Wenn die durch den Splittertest ermittelte Zusammensetzung der Legierung in der Gewebeprobe wieder gefunden wird,

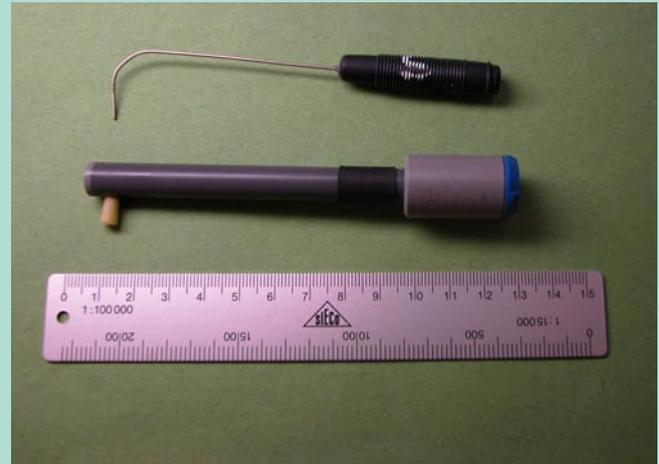
#### ► Splittertest

#### ► Energie-dispersive Röntgenstrukturanalyse

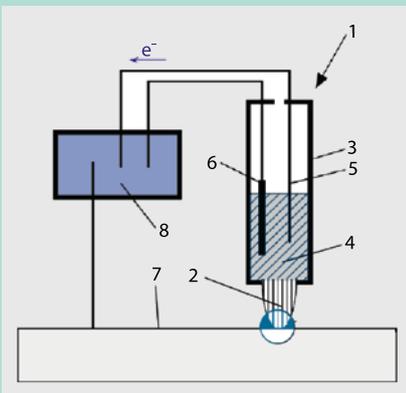
#### ► Atom-Absorptions-Spektrometrie



**Abb. 11** ▲ Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme eines frakturierten Stiftes. Die klar erkennbaren Gleitlinien lassen auf Materialermüdung schließen



**Abb. 12** ▲ Der für den Einsatz in der Mundhöhle realisierte EC-Pen



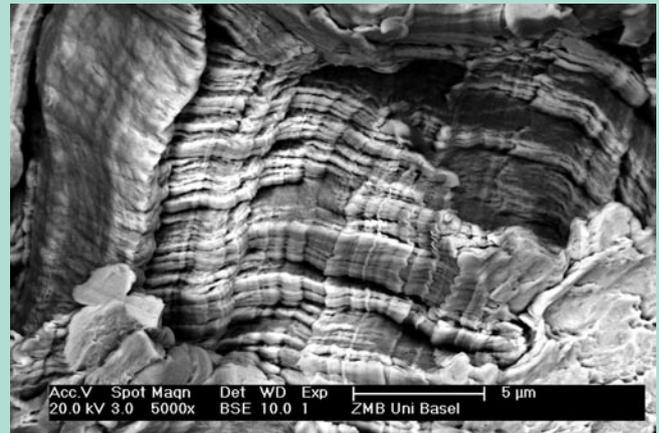
**Abb. 13** ◀ Schema zur Arbeitsweise des EC-Pens. 1 EC-Pen, 2 Messspitze, 3 Gehäuse, 4 Elektrolyt, 5 Gegenelektrode, 6 Referenzelektrode, 7 Prüfkörper, 8 Potentiostat



**Abb. 14** ► Intraoraler Messvorgang mit dem EC-Pen



**Abb. 15** ▲ Gingivale Veränderungen am Margo der VMK-Krone 21



**Abb. 16** ▲ REM-Bild eines Splitters einer Goldlegierung mit erheblicher Faltenbildung

**Tab. 2** Korrosionsmessungen an einer hoch goldhaltigen Legierung. Polierte zentrale Metallfläche (21); Übergangsstelle zur Keramik-Haftoxid-Zone (21 k)

Messstelle	Impedanz [A/cm <sup>2</sup> ]	U <sub>oc</sub> [V]	Phase [deg]	R <sub>p</sub> [A/cm <sup>2</sup> ]	Korrosions widerstand
21	231	0,13	50	357	Hoch
	238	0,12	51	383	
	252	0,13	48	373	
21 k	118	-0,06	11	120	Niedrig
	140	-0,06	0	140	
	194	-0,06	0	195	

kann man von signifikanten Korrosionsprozessen ausgehen. Die Kombination der beiden Messverfahren ist jedoch vergleichsweise aufwendig und deshalb für den Patienten teuer.

Im Schadensfall oder auch wenn die Zerstörung der Restauration möglich ist, fertigt man eine Schliffanalyse an. Damit lassen sich zahntechnische Güsse auf Verarbeitungs- und Herstellungsfehler überprüfen. **Abb. 10** zeigt das Schliffbild eines Gussobjektes. Hier sind eindeutig Einschlüsse und Gussblasen nachweisbar. Diese Defekte können massive Korrosion verursachen und zu oben beschriebenen Symptomen führen. Gleichmaßen kann man Frakturen untersuchen und die Ursache für den Bruch herausfinden. **Abb. 11** zeigt die rasterelektronenmikroskopische Aufnahme eines frakturierten Stiftes. Die klar erkennbaren Gleitlinien sind durch zyklische Belastungen entstanden. Die Frakturursache ist die Überbeanspruchung durch Materialermüdung.

## EC-Pen

Eine *In-vivo*-Methode, die eine direkte Messung der Korrosion am Patienten zerstörungsfrei ermöglicht, ist äußerst wünschenswert. Dazu lassen sich **elektrochemische Sensoren** einsetzen, wie sie von Büchler für technische Anwendungen entwickelt wurden [7]. Ein EC-Pen mit integrierten Elektroden wird auf die Messstelle aufgesetzt, und eine kleine Menge Elektrolyt wird freigesetzt. Der in **Abb. 12** gezeigte EC-Pen kann intra- und extraoral eingesetzt werden. **Abb. 13** zeigt den schematischen Aufbau des EC-Pens. Der EC-Pen besteht aus einem Elektrolytreservoir, in welches die Referenz- und Gegenelektrode eintaucht. Beim Aufsetzen der Spitze des EC-Pens auf das zu prüfende Objekt fließt Elektrolyt aus dem Reservoir nach und benetzt die Oberfläche. **Abb. 14** zeigt den intraoralen Messvorgang bei einer metallenen Rekonstruktion. Dadurch wird unter Verwendung eines Potentiostaten die Durchführung von elektrochemischen Korrosionsmessungen möglich. Gemessen werden **Impedanzspektren**, welche die Bestimmung des Polarisationswiderstandes ermöglichen. Aufgrund dieser Bestimmung wird die Korrosionsgeschwindigkeit des Metalls ermittelt. Der Polarisationswiderstand zeigt den Widerstand des Werkstoffs gegen Metallauflösung. Je größer der Polarisationswiderstand, desto geringer ist die Geschwindigkeit der Korrosion, d. h. in einem desto besseren Zustand befindet sich die fragile Rekonstruktion.

**Abb. 15** zeigt eine 20-jährige Patientin mit VMK-Krone 21. Kurze Zeit nach dem Einsetzen sind die Veränderungen der Gingiva aufgetreten. Die Analyse der Legierung mittels EDX (Splittertest) zeigt, dass es sich um eine hoch goldhaltige Edelmetalllegierung handelt. Obwohl eine derartige Legierung normalerweise sehr korrosionsstabil ist, verdeutlichen die Messungen mittels EC-Pen eine deutlich erhöhte Korrosionsrate insbesondere im Bereich des Übergangs Metall-Keramik (**Tab. 2**). Eine Splitteruntersuchung zeigte im vorliegenden Fall **gusstechnische Fehler**. Die Temperatur beim Gießen war zu tief, so dass es zur Bildung der in **Abb. 16** sichtbaren Falten und Verwerfungen gekommen ist. Diese haben den Korrosionsvorgang erheblich beschleunigt, und die entstandenen Korrosionsprodukte haben zu den geschilderten Symptomen geführt. Eine Neuanfertigung der Krone ist unumgänglich. Der Fehler für diesen Misserfolg liegt hier eindeutig beim Zahntechniker.

## Fazit für die Praxis

Für zahnärztliche Rekonstruktionen werden Metalle, Keramiken und Polymere eingesetzt. Für fest-sitzende Rekonstruktionen kann man hoch goldhaltige Edelmetalllegierungen (>75% Au), Nickel-freie CrCo-Legierungen, Keramiken und Titan empfehlen. Abnehmbare Rekonstruktionen sollten aus Nickel-freien CrCo-Legierungen oder Kunststoffen bestehen.

Mit der Schliffanalyse lassen sich zahntechnische Güsse auf Verarbeitungs- und Herstellungsfehler überprüfen

### ► Elektrochemische Sensoren

Der EC-Pen kann intra- und extraoral eingesetzt werden

### ► Impedanzspektren

### ► Gusstechnische Fehler

Die Herstellung, Be- und Verarbeitung durch den Zahntechniker ist von zentraler Bedeutung. Die Empfehlungen der Hersteller sollten genau eingehalten werden, um Misserfolge zu vermeiden. Insbesondere hoch goldhaltige Edelmetalllegierungen sind sehr anfällig für Verarbeitungsfehler, obwohl sie ansonsten sehr dauerhaft sind. Eine gute Alternative, auch im festsitzenden Bereich, bieten CrCo-Legierungen. Sie sind aus preislicher Sicht sehr attraktiv. Keramiken mit ihren stabileren Bindungen setzen sich zunehmend durch, weil sie nicht nur korrosionsbeständiger als reine Metalle und Metalllegierungen sind, sondern auch vom ästhetischen Standpunkt überzeugen. Nachteile der Keramiken sind die aufwendige Befestigungstechnologie und ihre sehr begrenzte Zugfestigkeit. Deshalb bilden im abnehmbar prothetischen Bereich nach wie vor CrCo-Legierungen, die in aller Regel problemlos einsetzbar sind, den Standard.

### Korrespondenzadresse

#### Dr. M. Jungo



Institut für Werkstoffwissenschaft,  
Technologie und Propädeutik,  
Department Zahnmedizin, Universität Basel  
Hebelstr. 3, 4056 Basel  
zahnaerzte@gmx.ch  
www.bmc.unibas.ch

Dr. med. dent. *Markus Jungo* schloss 1984 das Studium der Zahnheilkunde an der Universität Basel ab. Er arbeitet seit 1989 in eigener Praxis in Rheinfelden/Schweiz. Als Mitarbeiter am Institut für Werkstoffwissenschaft, Technologie und Propädeutik, Departement Zahnmedizin, Universität Basel, ist er Leiter der Spezialsprechstunde für Materialunverträglichkeiten. Er befasst sich hauptsächlich mit Untersuchungsmethoden zu Werkstoffunverträglichkeiten.



*Fredy Schmidli* absolvierte eine Berufslehre als Chemielaborant mit Abschluss 1975. Weiterbildung in Elektrochemie und Beschäftigung im Korrosionslabor (Institut Straumann AG 1978–1981). Weiterbildung in Metallographie sowie Ermüdungsuntersuchungen mit Osteosyntheseplatten bei Straumann-Synthes AG (1981–1983). Ausbildung zum REM-Operator (RasterElektronenMikroskop) 1986. Seit 1992 Leiter des Labors für Werkstoffwissenschaft und Technologie im Departement Zahnmedizin, Universität Basel.  
fredy.schmidli@unibas.ch



Prof. Dr. *Bert Müller* ist Thomas-Straumann-Professor für Materialwissenschaft in der Medizin und amtiert als Direktor des Biomaterials Science Centers der Universität Basel und als Vorsteher des Instituts für Werkstoffwissenschaft, Technologie und Propädeutik am Departement Zahnmedizin der Universität Basel.

**Interessenkonflikt.** Es besteht kein Interessenkonflikt. Die korrespondierenden Autoren versichern, dass keine Verbindungen mit einer Firma, deren Produkt in dem Artikel genannt ist, oder einer Firma, die ein Konkurrenzprodukt vertreibt, bestehen. Die Präsentation des Themas ist unabhängig und die Darstellung der Inhalte produktneutral.

#### Mehr Infos online!

Das Literaturverzeichnis finden Sie in der elektronischen Version des Beitrags unter [CME.springer.de](http://CME.springer.de)

# Fragen zur Lernerfolgskontrolle

Bitte beachten Sie:

Es ist immer nur eine Antwort möglich.  
Antwortmöglichkeit – nach vorheriger Registrierung unter [www.fvdz.de](http://www.fvdz.de) – nur online unter [CME.springer.de](http://CME.springer.de)  
Die Frage-Antwort-Kombinationen werden online individuell zusammengestellt.

## Welche der mechanischen Eigenschaften der Metalle ist für Zahnersatz unerwünscht?

- Elastizität.
- Bruchfestigkeit.
- Stabilität.
- Dauerhaftigkeit.
- Torsionsempfindlichkeit.

## Was versteht man unter Korrosion?

- Korrosion nennt man den Zerfall eines Metalls oder einer Metalllegierung durch die Reaktion mit der Umgebung.
- Als Korrosion bezeichnet man den allgemeinen Substanzverlust von Restaurationen aus Metall infolge von Reibung.
- Korrosion ist der unscharf begrenzte Substanzverlust von metallischen Restaurationen durch Schleifkörper in Zahnpasten.
- Korrosion nennt man den Substanzverlust von Restaurationen aus Metall durch reflektorisches Berühren der Zähne.
- Korrosion bezeichnet den Substanzverlust von metallischen Restaurationen durch nächtliches Zähneknirschen.

## Welche der folgenden Beobachtungen gehören zu den subjektiven Symptomen einer Materialunverträglichkeit?

- Verfärbungen am Weichgewebe.
- Parodontitis.
- Gingivitis.

- Metallgeschmack.
- Schleimhautveränderungen.

## Welches der folgenden Symptome zeigt in der Regel keine signifikanten Farbveränderungen der Gingiva?

- Pigmentflecken.
- Hämangiome.
- Materialunverträglichkeit.
- Amalgamtätowierungen.
- Amelanotische Melanome.

## Welche Anordnung gehört nicht zu den typischen Spaltsituationen in der Mundhöhle?

- Lötstelle.
- Kronenränder.
- Kunststoff-Komposit-Füllung.
- Bedingt abnehmbare Suprastruktur.
- Doppelkronen.

## Welchen Vorteil hat die Elektronenmikroskopie gegenüber der Lichtmikroskopie für die Materialanalyse?

- Bei hoher Ortsauflösung hat die Elektronenmikroskopie noch eine sehr gute Tiefenschärfe.
- Die Elektronenmikroskopie kann direkt am Patienten in vivo eingesetzt werden und liefert die besseren Farbbildungen.
- Die Elektronen können tief in die Gewebeproben eindringen und erlauben somit nicht nur Informationen über die Oberfläche.

- Die Rasterelektronenmikroskopie ermöglicht die Bestimmung der Legierungszusammensetzung der Metalle.
- Elektronenmikroskope enthalten keine Linsen, und die erhaltenen Bilder sind deshalb ohne jegliche Abbildungsfehler.

## Worin liegt das Anwendungsgebiet der Energie-dispersiven Röntgenanalyse (EDX) bei der Analyse von Materialunverträglichkeiten?

- Detaillierte Analyse der Verarbeitung, Korrosionskontrolle.
- Legierungsbestimmung.
- Quantitative und qualitative Analyse von Hart- und Weichgeweben.
- Gusskontrolle, Körnigkeit.
- Ursachenbestimmung von Frakturen.

## Welcher der folgenden Prozesse führt zu Gleitlinien in einem Riss oder einer Fraktur?

- Gewaltanwendung.
- Schlißanalyse.
- Entmischung der Metalllegierung.
- Ermüdung durch zyklische Belastung.
- Jegliche Lötstelle.

## Für welche Art der Messung kann der EC-Pen nicht verwendet werden?

- Für In-vivo-Messungen am Patienten.
- Für Messungen am abnehmbaren Zahnersatz.

- Für Korrosionsmessungen.
- Für Messungen am natürlichen Zahn.
- Für die Bestimmung des Korrosionswiderstandes.

## Warum sind Nickel-freie CoCr-Legierungen interessant für den Einsatz in der Mundhöhle?

- Sie führen nie zu Misserfolgen.
- Sie sind besser biokompatibel als alle bekannten Metalllegierungen.
- Die Struktur der CoCr-Legierungen ist sehr gut mit dem natürlichen Zahn vergleichbar.
- Farbe und Glanz der Legierung sind vergleichbar mit dem Zahnschmelz.
- CoCr-Legierungen sind vergleichsweise kostengünstig.

Diese Fortbildungseinheit ist 12 Monate auf [CME.springer.de](http://CME.springer.de) verfügbar. Den genauen Einsendeschluss erfahren Sie unter [CME.springer.de](http://CME.springer.de)



## Literatur

1. Reuling N (1992) Biokompatibilität dentaler Legierungen. Hanser, München Wien
2. Jungo M, Wirz J, Schmidli F (1999) Werkstoffbedingte Misserfolge unter besonderer Berücksichtigung der Metalle und Legierungen. Quintessenz 50:10
3. Kappert HF, Pfeiffer P, Schwickerath H (1994) Zur Korrosionsfestigkeit aufbrennfähiger Edelmetalllegierungen. Dtsch Zahnärztl Z 49:716–721
4. Wirz J, Jäger K, Schmidli F (1993) Metallionen im Gewebe. Quintessenz 44:1833
5. Wirz J, Vock M, Schmidli F (1996) Splittertest-ein zuverlässiges Diagnosehilfsmittel bei Abklärungen von Metallunverträglichkeit. Quintessenz 47:1373–1384
6. Barsoukov E, Macdonald JR (2005) Impedance spectroscopy. Theory, experiment, and applications, 2nd edn. John Wiley & Sons, New York
7. Büchler M, Voüte C-H, Bindschedler D, Stalder F (2003) The ec-pen in quality control: Determining the corrosion resistance of stainless steel onsite. Non-Destructive Testing in Civil Engineering BB 85-CD Berlin: Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung
8. Schmidli F, Jungo M, Jäger K et al (2009) Bestimmung der Korrosionsbeständigkeit von Dentallegierungen mit einer neuartigen Messmethode. Schweiz Monatsschr Zahnmed 119:584–588