



David Sonntag, Karolin Heithecker

Korrosion von Nickel-Titan-Instrumenten



David Sonntag
OA Dr. med. dent

Karolin Heithecker
Zahnärztin

Beide:
Philipps-Universität Marburg
Klinik für
Zahnerhaltungskunde
Georg-Voigt-Straße 3
35033 Marburg
E-Mail: sonntag@staff.
uni-marburg.de

INDIZES *Korrosion, Nickel-Titan, Fraktur, NaOCl, Aufbereitung*

Die Bedeutung der Korrosion von Nickel-Titan-Instrumenten wird bis heute kontrovers diskutiert. So ist der klinische Einfluss auf das Frakturverhalten der Instrumente noch immer nicht hinreichend untersucht. Auf der einen Seite werden beeindruckende Bilder von zerstörten Instrumenten nach Lagerung in NaOCl veröffentlicht; auf der anderen Seite sind diese Materialschädigungen bei klinischer Anwendung nahezu nie zu beobachten. Der vorliegende Artikel soll einen kleinen Überblick über die Korrosion von Nickel-Titan-Instrumenten geben und offene Fragen aufzeigen.

■ Einleitung

Nickel-Titan-Instrumente werden heute häufig zur Aufbereitung von Wurzelkanälen angewendet. Diese Instrumente bestehen zu 55 Gew.-% aus Nickel und zu 45 Gew.-% aus Titan und enthalten geringe Spuren von Eisen und Kobalt. Die maximale Anwendungsdauer einer Feile hängt von den Belastungen und den äußeren Einflüssen ab, die während der Nutzungsperiode auf das Instrument einwirken. Korrosion als Reaktion eines metallischen Werkstoffs mit seiner Umwelt ist potenziell einer von zahlreichen negativen Einflussfaktoren. Die Korrosionsanfälligkeit hängt jedoch nicht nur von der Legierungszusammensetzung, der Struktur und der Beschaffenheit der Feilenoberfläche ab. Auch die Häufigkeit sowie die Art und Dauer der mit den Instrumenten in Kontakt kommenden Medien haben einen entscheidenden Einfluss auf die Passivschicht der Instrumente, die einen Korrosionsschutz bietet.

Die NiTi-Legierung zeichnet sich im Vergleich zu anderen Legierungen durch eine gute Korrosionsre-

sistenz aus. Allerdings induzieren insbesondere Chloridionen einen Korrosionsprozess bei Nickel. Diese Cl-Ionen sind in der am häufigsten zur endodontischen Behandlung verwendeten Spüllösung, dem Natriumhypochlorit, enthalten. Beim Kontakt mit Chloridionen besteht die Gefahr der Lochkorrosion mit nadelstichtartigen, unterhöhlten Bereichen, die ohne Vergrößerung kaum wahrnehmbar sind (Abb. 1). Die Häufigkeit und Dauer mit der eine NiTi-Feile in Kontakt mit einer NaOCl-Lösung kommt, hat entscheidenden Einfluss auf die Destruktion der vom Titan hervorgerufenen Passivschicht der Instrumente.

■ Was ist Korrosion?

Erste schriftliche Aufzeichnungen über Rost, das Korrosionsprodukt aus Eisenoxid und Wasser, stammen von Plato (427 – 347 v. Chr.). Dieser beschrieb Rost als das Erdige, welches sich aus Metall ausscheidet. Im 16. Jahrhundert übernahm der Chemiker Stadtarzt, Bürgermeister, Universalgelehrte

Manuskript
Eingang: 14.12.2005
Annahme: 10.01.2006

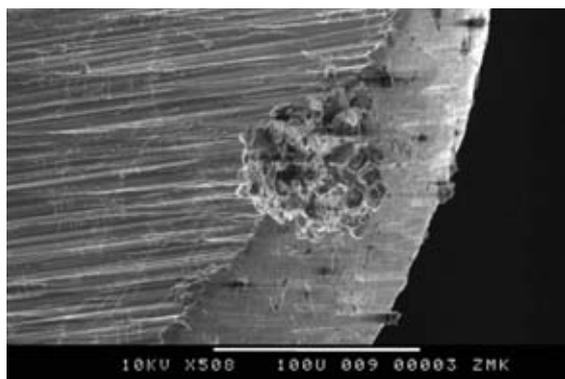


Abb. 1 Kleine, unterminierende Lochkorrosion am „radial land“ einer NiTi-Feile bei ca. 500facher Vergrößerung.

und Vater der Mineralogie Georgius Agricola (1494 – 1555) in seinem großen mineralogischen Werk „De natura fossilium“ diese Ansicht¹. Veröffentlicht wurde der Begriff „Korrosion“ erstmals 1667 in England in der Fachzeitschrift „Philosophical Transactions“². Erst Ende des 18. Jahrhunderts wurde die Korrosion als chemischer Prozess verstanden. Der Physiker und ebenfalls Universalgelehrte Johann Wilhelm Ritter (1776 – 1810) erkannte in seiner im Jahre 1799 aufgestellten Theorie die in Grundzügen richtige Interpretation für die Korrosionsvorgänge an Metallen³.

Der Begriff „Korrosion“ leitet sich von dem lateinischen Verb *corrodere* ab und bedeutet so viel wie zernagen oder zerfressen. Aus dieser Bezeichnung heraus wird ersichtlich, dass es sich bei diesem Vorgang um eine destruktive chemische oder elektrochemische Reaktion eines Werkstoffs mit Stoffen aus seiner Umgebung handelt, die eine messbare Veränderung am Werkstoff hinterlässt. Diese Veränderung kann bis zur völligen Unbrauchbarkeit einer NiTi-Feile reichen und zu deren Fraktur führen⁴. Metalle werden nach einem elektrochemischen Mechanismus korrodiert, vorausgesetzt das angreifende Medium ist flüssig und leitfähig.

Wird ein NiTi-Aufbereitungsinstrument in eine wässrige NaOCl-Lösung (*Elektrolytlösung*) getaucht, so wirkt das Instrument (*Elektrode*) als Elektronenleiter und die NaOCl-Lösung (*Elektrolyt*) als Medium, in dem der elektrische Strom durch Ionen transportiert wird. Die nachfolgende *Elektrodenreaktion* bezeichnet die Phasengrenzreaktion, die dem Ladungsaustausch zwischen dem Instrument und der NaOCl-Lösung äquivalent ist⁴. Hierbei finden an der Phasengrenze zwischen dem Aufbereitungsinstru-

ment und der NaOCl-Lösung die Korrosionsvorgänge statt; allerdings werden nur vernachlässigbar kleine Metallmengen umgesetzt. Die positiv geladenen Metallionen gehen bei der *anodischen Teilreaktion* in die Elektrolytlösung über und lassen dabei die negativ geladenen Elektronen im Metall, dem Elektronenleiter, zurück. Das heißt, das Metallatom wird oxidiert. Bei der *kathodischen Teilreaktion* nehmen die gelösten Metallionen an der Phasengrenze Elektronen auf und scheiden sich als Metallatome an der Elektrodenoberfläche ab. Die dabei fließenden Ströme werden nach den Teilreaktionen als anodischer Teilstrom i_A und kathodischer Teilstrom i_K bezeichnet. Klinisch ist dieses Phänomen durch das „Ausblühen“ eines NiTi-Instruments an den Korrosionsstellen ebenfalls zu beobachten. Hier wird auch makroskopisch sichtbar, dass eine äußere Ablagerung stattgefunden hat (Abb. 2 und 3).

Zwischen Elektrolyt und Elektrode bildet sich ein elektrisches Potenzial, das es weiteren Ionen zunehmend erschwert, das Metall zu verlassen, bis sich schließlich ein Gleichgewicht einstellt. Dieses Gleichgewicht ist dynamisch, da Auflösungs- (anodisch) und Abscheidungsreaktion (kathodisch) gleich groß sind (Gleichgewichtspotenzial)^{5,6}. Allerdings verhalten sich unedle und edle Metalle unterschiedlich, wenn sie in einen Elektrolyten getaucht werden. Der anodische Teilstrom des unedlen Metalls, das in eine Elektrolytlösung getaucht wird, ist größer als der kathodische, da das unedle Metall bestrebt ist, sich im Elektrolyten aufzulösen. Dabei bleiben Elektronen in der Elektrode zurück und laden diese negativ auf. Die in der Elektrolytlösung gelösten Metallionen sind positiv geladen und bilden einen Überschuss, der sich nahe der negativ geladenen Elektrode anreichert. Bei



Abb. 2 Makroskopisch deutlich sichtbar sind die Auflagerungen auf den Feilen nach einem Korrosionsprozess. Die Auflagerungen sind der sichtbare Nachweis einer kathodischen Teilreaktion.

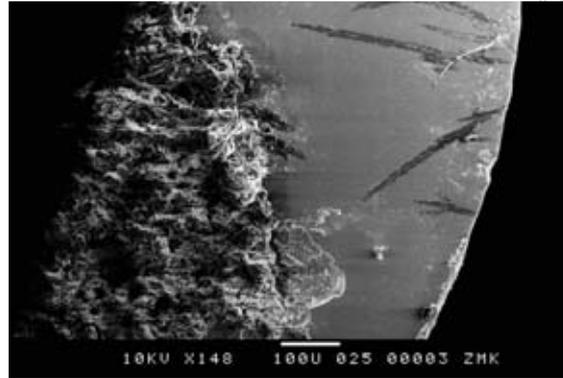


Abb. 3 Rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen zeigen bei 150facher Vergrößerung eine kristalline Struktur der aufgelagerten Metalloxide, die makroskopisch nicht erkennbar sind.

edlen Metallen ist der kathodische Teilstrom größer, da diese Metalle bestrebt sind, vom gelösten in den metallischen Zustand überzugehen. Überwiegt der anodische oder kathodische Teilstrom, entsteht an der Phasengrenze von Elektrode und Elektrolyt eine elektrische Doppelschicht mit einer Potentialdifferenz². Diese Spannung zwischen der Elektrode und dem Elektrolyten in einem galvanischen Halbelement ist allerdings nicht unmittelbar messbar. Je edler das Metall, desto weniger leicht gibt es Elektronen an die Elektrolytlösung ab bzw. desto höher ist das Ruhepotential der Elektrode und umgekehrt.

Werden zwei galvanische Halbelemente verschiedener Metalle zu einem so genannten *galvanischen Element* kombiniert, bildet dieses eine Spannungsquelle. Die Spannung ergibt sich als Differenz der Ruhepotenziale mit dem Pluspol am edleren Metall. Bei dieser Konstellation überwiegt die anodische Auflösung, weil sich das oben beschriebene Gleichgewicht nicht einstellt, wodurch sich das unedlere Metall kontinuierlich auflöst: Es korrodiert⁶.

■ Korrosionserscheinungen

Die *Korrosionserscheinung* ist die durch Korrosion verursachte Veränderung in einem beliebigen Teil des Korrosionssystems und kann quantitativ und/oder qualitativ erfasst werden. Die zahlreichen Erscheinungsformen der Korrosion werden als gleichmäßig und ungleichmäßig lokal auftretende Phänomene mit und ohne mechanische Beanspruchung unterschieden^{5,7}.

Die ungleichmäßig lokal auftretenden Korrosionserscheinungen ohne mechanische Beanspruchung umfassen *Mulden-, Loch-, Spalt-, Kontaktkorrosion* und *selektive Korrosion*. Loch- und Spaltkorrosion werden meistens durch Chloridionen verursacht. Bis zu einer Konzentration von 0,5 mol NaCl-Lösung bewirkt die damit verbundene Zunahme der Chloridionenkonzentration eine ansteigend erhöhte Schädigung durch Korrosion. Ab einer Konzentration von 0,5 mol verringert sich die durch Chloridionen verursachte Korrosion. Die üblicherweise verwendeten Natriumhypochloritlösungen entsprechen mit 3 %, 5 % und 7 % 0,038-, 0,063- und 0,088-molaren Lösungen. Höhere Konzentrationen von NaOCl verursachen dadurch mit größerer Wahrscheinlichkeit Korrosion. Einfach sichtbar wird dies bei Kofferdamklammern, die bei Verwendung von höher konzentrierter NaOCl-Lösung (z. B. 5 %) schneller oberflächliche Korrosionserscheinungen aufweisen als bei Anwendung von 1%iger Lösung. Die Chloridionen üben weder einen Einfluss auf die Reaktion zwischen NaOCl-Lösung und Feile (Elektrodenreaktion) noch auf den pH-Wert des Elektrolyten aus, sondern beeinflussen den Ladungstransport⁸.

Die Lochkorrosion zeigt unterschiedliche Erscheinungsformen. Typisch für diese Korrosionsart ist die Ausbildung halbkugeliger oder nadelstichtartiger Löcher an sauerstoffarmen Stellen, deren Tiefe meist größer ist als ihr Durchmesser. Dies kann bis zur völligen Destruktion einer Feile führen (Abb. 4). Durch diese besondere Situation einer relativ kleinen aktiven Anodenfläche (Fläche der Oxidationsreaktion)

Abb. 4 Völlig zerstörte Feile mit Separation nach deutlich sichtbarer Lochkorrosion. Das außen bestehende Gerüst weist zudem auf eine selektive Korrosion unter Auflösung einzelner Gefügebestandteile hin.

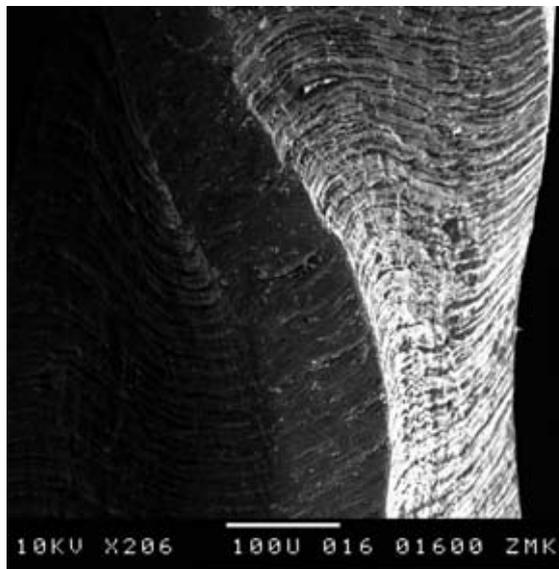
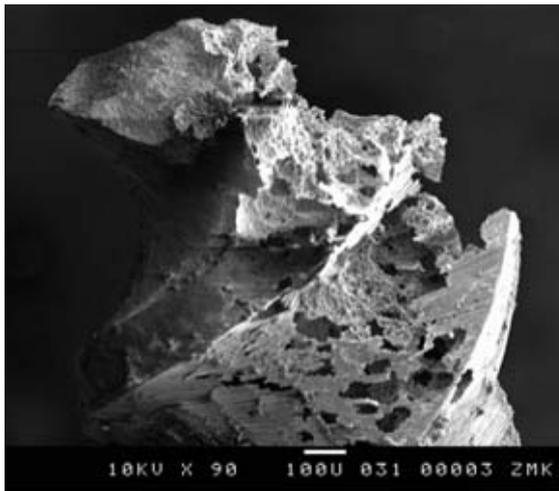


Abb. 5 Aufgewundene NiTi-Feile bei ca. 200facher Vergrößerung mit deutlich erkennbaren Rissen und Spalten, die eine Spaltkorrosion ermöglichen.

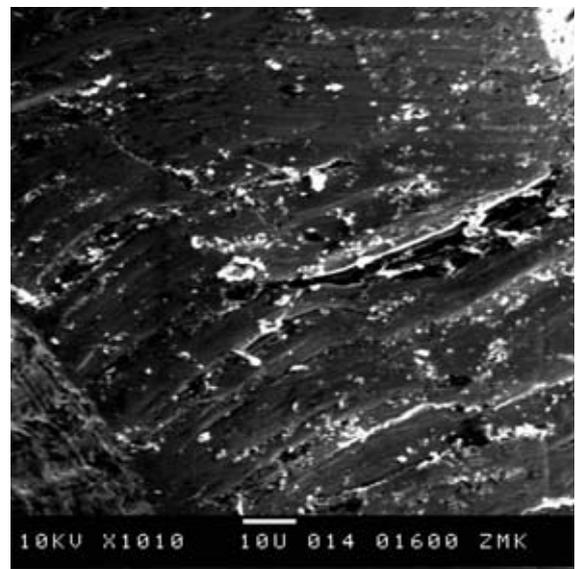


Abb. 6 Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme des Instruments aus Abbildung 5. Bei circa 1000facher Vergrößerung ist der Spalt deutlich zu erkennen.

und der restlichen, weiterhin passiven Kathodenfläche liegt ein *Aktiv-Passiv-Element* mit einer relativ hohen Potenzialdifferenz von etwa 0,5 bis 1 Volt vor^{2,5}. Die Spaltkorrosion bildet sich in Bereichen von Spalten und unter Ablagerungen aus. Bei NiTi-Instrumenten treten Spalten insbesondere nach mechanischen Belastungen auf (Abb. 5 und 6). Aber auch der eng anliegende Gummistopper bildet einen Spalt und kann bei Lagerung der Feile in einer NaOCl-Lösung den Korrosionsprozess lokal fördern (Abb. 7).

Die Korrosionsbeständigkeit von Metallen ist abhängig von ihrer Fähigkeit, eine Passivschicht zu bilden. Von besonderer Bedeutung ist in diesem Zusammenhang der unterschiedliche Sauerstoffzutritt

in Abhängigkeit von der Spaltgeometrie in den Elektrolyten, wodurch ein so genanntes *Belüftungselement* entsteht. Wenn der Sauerstoff in den genannten Bezirken verbraucht ist, führt dies zu einer *Sauerstoffverarmung*, wodurch die *Repassivierung* im Spalt erschwert wird. Durch den Sauerstoffzutritt in die Elektrolytlösung außerhalb des Spalts und durch das Sinken des pH-Werts im Korrosionsloch infolge der Hydrolyse der gelösten Metallionen ändert sich die Zusammensetzung des Elektrolyten. Außerdem werden Chloridionen durch die in Lösung gegangenen Metallionen zur Ladungskompensation in den Spalt überführt. Daraus ergeben sich geänderte Stromdichte-Potenzial-Verhältnisse, was den Auflö-

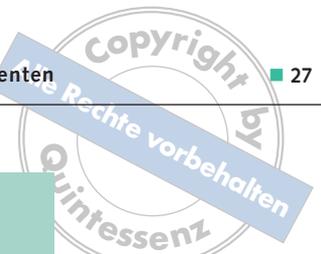


Abb. 7 Von vier Instrumenten unterschiedlicher Hersteller zeigen drei Instrumente massive Korrosionsschäden nach Lagerung in einer NaOCl-Lösung. Die makroskopisch sichtbare Korrosion lief jeweils ausschließlich unterhalb des Schaftes im Bereich von Lot und Gummistopper ab. Die Ursache ist hier sehr wahrscheinlich eine Spaltkorrosion.

sungsstrom im Spalt fließen lässt⁵. Die Kontaktkorrosion kann an der Verbindungsstelle zweier verschiedener Metalle auftreten. Sie entspricht im Wesentlichen dem zuvor bereits ausführlich beschriebenen galvanischen Element. Die selektive Korrosion führt zu einer selektiven Auflösung einzelner Gefügebestandteile aus einer mehrphasigen Legierung heraus. Dadurch bleibt häufig die edlere Komponente der Legierung als poröses Gerüst zurück (s. Abb. 4). Die interkristalline Korrosion beschreibt das Lösen der Gefügebestandteile aus dem metallischen Verband in korngrenzenahen Bereichen. Hierdurch lösen sich die Korngrenzen auf, und das Metall kann mit der Hand zerrieben werden^{2,9}.

■ Veränderung der NiTi-Oberfläche

Walia et al.¹⁰ forderten bereits im Jahre 1988, dass die Oberflächengüte von Nickel-Titan-Instrumenten deutlich verbessert werden müsse und empfahlen hierzu eine Nachbehandlung der Instrumentenoberfläche mit einem elektrolytischen Polierverfahren. Lee et al.¹¹ schlugen eine Behandlung der Instrumente im Vakuum mit Stickstoff oder Bor vor, um die Oberflächenqualität und -härte zu verbessern und damit den Instrumentenverschleiß zu verringern. Durch diese Behandlung entsteht an der Instrumentenoberfläche eine ca. 2 µm dicke ionenplattierte Titanitridschicht respektive eine ca. 0,2 µm dicke Titanboridschicht. Diese Schichten gelten als besonders korrosionsbeständig und besonders verschleiß-

fest. Die Schneidleistung der Nickel-Titan-Instrumente könnte dadurch verbessert und ihre Lebensdauer verlängert werden. Den Untersuchungen der Autoren zufolge gelingt es mittlerweile experimentell, derartige ionenplattierte Titanbromidschichten auf Nickel-Titan-Instrumenten zu etablieren, was – im Vergleich zu unbehandelten Nickel-Titan-Instrumenten – die Oberflächenhärte verdoppeln soll, ohne die Flexibilität der Legierung zu beeinträchtigen¹¹. Rapisarda et al.^{12,13} konnten in ihren Studien nachweisen, dass Nitrierprozesse und Stickstoffionen-Implantation tatsächlich eine Verbesserung der Schneidleistung, eine Abnahme des aufbereitungsbedingten Abriebs der Schneidekanten und eine Verlängerung der Lebensdauer bewirken können. Schäfer^{14,15} wandte mit der so genannten PVD-Beschichtung (Physical Vapour Deposition) eine ähnliche Technologie an, um die Schneidleistung von Nickel-Titan-Instrumenten zu verbessern. Dabei wird zur mechanischen Beeinträchtigung der Eigenschaften des Nickel-Titans mittels einer magnetisch gefilterten Lichtbogenquelle bei Temperaturen unter 200°C im Vakuum eine 0,1 µm dicke Haftvermittlerschicht aus Titan aufgebaut. Auf diese Haftschiicht wird anschließend eine Titanitridschicht mit einer Dicke von etwa 1 µm plattiert. Durch diese Schichtstärke mit einer Härte von etwa 2200 HV erfahren die Schneidekanten einen deutlichen Abriebschutz und eine Verbesserung der Schneidleistung, ohne dass durch die zusätzlichen Schichten die Schneidekanten verrundet werden^{14,15}. Ein jüngst vorgestelltes Verfahren ist die Kryobehandlung von Nickel-Titan mit -196°C kal-



tem Stickstoff. Diese Behandlung führt zu einer signifikant größeren Mikrohärtigkeit gegenüber den unbehandelten Vergleichsgruppen¹⁶.

Welchen Einfluss diese Beschichtungen und Oberflächenveränderungen auf die Korrosion von Nickel-Titan haben, wurde bislang noch nicht differenziert untersucht. Bei einzelnen Verfahren kann lediglich vermutet werden, dass aufgrund der höheren Oberflächengüte ein geringeres Korrosionspotenzial besteht.

Einige Metalle, wie z. B. Titan, bilden spontan an der Luft oder im neutralen Wasser eine unlösliche, feste Deckschicht. Diese Deckschicht wird als *Passivschicht* bezeichnet. Durch sie werden das Metall und der Elektrolyt voneinander getrennt, wodurch die Korrosion behindert bzw. unterbunden wird⁶. In der Literatur findet sich keine einheitliche Definition des Begriffs der Passivität. Zum einen wird beschrieben, dass der Zustand der Passivität durch eine verringerte Korrosionsgeschwindigkeit zum Ausdruck kommt⁴. An anderer Stelle wird die hohe Korrosionsgeschwindigkeit in Kombination mit keiner oder nur einer sehr geringen Auflösung des Metalls als Voraussetzung für die Entstehung einer Passivschicht angesehen¹⁷. Die Passivschicht ist eine dünne, meist nicht mehr als 1 bis 10 nm dicke Schutzschicht, die der Metalloberfläche als Produkt des Metalls mit seiner Umgebung aufliegt. Nach einer aktiven Auflösung des Metalls folgt – bei weiterer anodischer Belastung – die Ausbildung der Passivschicht meist in Form von Oxiden oder schwer löslichen Salzen. Die Oxidschicht verhindert einen Durchtritt von Ionen oder Wassermolekülen, sodass praktisch kein Stoffumsatz mehr stattfindet¹⁷. Die NiTi-Feile weist somit einen großen inhärenten Korrosionsschutz auf, der bis zu einem gewissen Maß vor korrosiven Angriffen schützen kann.

■ Untersuchungen zur Korrosion von NiTi-Instrumenten

Um Nickel-Titan auf seine Korrosionsanfälligkeit hin zu überprüfen, wurden Nickel-Titan-Legierungen den verschiedensten Tests unterzogen.

Edie et al.¹⁸ bewerteten die Oberflächenbeschaffenheit von Nickel-Titan im Vergleich zu Edelstahl vor und nach klinischem Gebrauch rasterelektronenmi-

roskopisch mit einer 100- bis 1000-fachen Vergrößerung. Es zeigte sich, dass die Oberflächenbeschaffenheit ungebrauchter Edelstahlinstrumente im Allgemeinen glatter ist als die ungebrauchter Nickel-Titan-Instrumente. Bei der visuellen Inspektion konnten weder bei Edelstahl noch bei Nickel-Titan Korrosionsspuren festgestellt werden. Auch nach der klinischen Anwendung der Nickel-Titan-Instrumente konnte keine Korrosion nachgewiesen werden. Allerdings entwickelt sich auf der Oberfläche von Nickel-Titan eine Oxidschicht, die schon selbst als Korrosion interpretiert werden könnte, wobei diese Schicht scheinbar passiv ist und keine offensichtlichen Korrosionsprodukte erkennen lässt¹⁸.

Um klinische Bedingungen zu simulieren, wurden bei der Studie von Rondelli und Vicentini¹⁹ kommerziell erhältliche Nickel-Titan-Legierungen in eine Immersion aus 40°C warmen künstlichen Speichel und zum Vergleich in physiologische Kochsalzlösung (0,9 %) getaucht. Dabei konnte festgestellt werden, dass Nickel-Titan eine suffiziente Resistenz in künstlichem Speichel aufweist, aber in physiologischer Kochsalzlösung eher korrosionsanfällig zu sein scheint¹⁹. Die elfmonatige Lagerung in 1%iger Kochsalzlösung verursacht zwar Korrosion auf der Oberfläche der Nickel-Titan-Legierungen, beeinträchtigt aber die flexiblen Eigenschaften nicht²⁰.

Insbesondere der Kontakt von Nickel-Titan-Instrumenten mit NaOCl erbrachte sehr unterschiedliche Ergebnisse. Aten et al.²¹ konnten an Nickel-Titan-Instrumenten nach Kontakt mit 5,25%iger Natriumhypochloritlösung für eine bis zwölf Stunden in Kombination mit fünf Behandlungszyklen und anschließender Sterilisation makroskopisch deutlich sichtbare Korrosionsspuren bis hin zur Separation feststellen. Busslinger et al.²² verwendeten 1%ige und 5%ige Natriumhypochloritlösungen, die in Plastikfläschchen in ein Ultraschallbad gelegt wurden, während sie mit den Nickel-Titan-Instrumenten in Kontakt standen. Bei einer 1%igen Konzentration der Natriumhypochloritlösung konnte auch nach einer Einwirkdauer von 60 Minuten keine Korrosion nachgewiesen werden. Sichtbare Korrosionsspuren traten hingegen nach Immersion der Nickel-Titan-Instrumente in die 5%ige Natriumhypochloritlösung ab einer Einwirkdauer von 30 Minuten auf. Darabara et al.²³ erwärmten die 5,25%ige Natriumhypochloritlösung, sodass die Flüssigkeit während der Durchfüh-



zung des Tests konstant eine Temperatur von 37°C beibehält. Als Testergebnis konnte eine hohe Korrosionsresistenz des Nickel-Titans gegenüber der Natriumhypochloritlösung ermittelt werden. O'Hoy et al.²⁴ führten an den Nickel-Titan-Feilen Reinigungszyklen sowohl mit 1%iger Natriumhypochloritlösung als auch mit der Milton'schen Lösung, einem Gemisch aus 1%iger Natriumhypochloritlösung und 19%iger Kochsalzlösung, durch und konnten keine Korrosion nachweisen. Beließen sie allerdings die Feilen über Nacht (18 Stunden) ohne weiteren Einfluss in den jeweiligen Flüssigkeiten, wurden Korrosionsspuren bis hin zur Separation sichtbar. Stokes et al.^{25,26} führten in den Jahren 1997 und 1999 jeweils ähnliche Versuche durch: Nickel-Titan-Feilen wurden in 5,25%ige Natriumhypochloritlösung getaucht und anschließend auf Korrosion hin untersucht. Dabei ergaben sich ebenfalls uneinheitliche Befunde: Einige Feilen korrodierten, andere wiederum nicht.

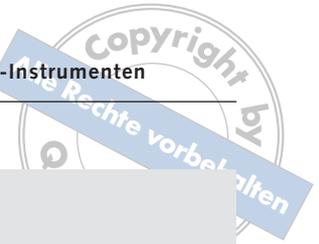
Bei zykelvoltametrischen Messungen konnte bei Spannungen von -0,6 bis 1,0 V mit Hilfe des Atomabsorptionsspektroskops sowie der EDX-Analyse eine signifikante Korrosion des Nickel-Titans bei Kontakt mit NaOCl nachgewiesen werden²⁷.

■ Fazit

Bei Sterilisation und Desinfektion nach Herstellerangaben sowie der Einhaltung der vorgegebenen Anwendungshäufigkeit hat die Korrosion nach derzeitiger Einschätzung keinen relevanten Einfluss auf die klinische Handhabung der Nickel-Titan-Instrumente. Auf eine Desinfektion von Ni-Ti-Feilen mit NaOCl sollte jedoch verzichtet werden, um das Risiko der Lochkorrosion so gering wie möglich zu halten.

■ Literatur

1. Agricola G. De natura fossilium. Basel, 1546. Essen: Reprint Verlag Glückauf, 1997.
2. Fonds der Chemischen Industrie. Informationsserie Nr. 08 Korrosion/Korrosionsschutz. Informationsserie 08 1994; <http://fonds.vci.de>
3. Richter K. Das Leben des Physikers Johann Wilhelm Ritter: ein Schicksal in der Zeit der Romantik. Weimar: Hermann Böhlau Nachfolger, 2003:12-15.
4. DIN: Korrosion und Korrosionsschutz, Beurteilung, Prüfung, Schutzmaßnahmen, Normen, technische Regeln. 3. Auflage, Berlin – Wien – Zürich: Beuth, 2002/2003.
5. Gellings PJ. Korrosion und Korrosionsschutz von Metallen. München: Hanser, 1981:123-125.
6. Marxkors R, Meiners H. Taschenbuch der zahnärztlichen Werkstoffkunde. München: Hanser, 1993:42-47.
7. Brockhaus: Naturwissenschaft und Technik, Band. 2. Heidelberg: Bibliographisches Institut F. A. Brockhaus AG, 2003.
8. Tostmann KH. Korrosion – Ursachen und Vermeidung. New York – Brisbane – Toronto: Wiley-VCH, 2000:19-21.
9. Korrosion – online. Berlin: BAM-Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, 2003, <http://www.korrosion-online.de>.
10. Walia H, Brantley W, Gerstein H. An initial investigation of the bending and torsional properties of nitinol root canal files. J Endod 1988;7:346-351.
11. Lee DH, Park B, Saxena A, Serene TP. Enhanced surface hardness by boron implantation in nitinol alloy. J Endod 1996;22:543-546.
12. Rapisarda E, Bonaccorso A, Tripi TR, Fragalk I, Conderelli GG. The effect of surface treatments of nickel-titanium files on wear and cutting efficiency. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 2000;89:363-368.
13. Rapisarda E, Bonaccorso A, Tripi TR, Conderelli GG, Torrisi L. Wear of nickel-titanium endodontic instruments evaluated by scanning electron microscopy of ion implantation J Endod 2001;27:588-592.
14. Schäfer E. Effect of physical vapor deposition on cutting efficiency of nickel-titanium files. J Endod 2002;28:800-802.
15. Schäfer E. Metallurgie und Eigenschaften von Nickel-Titan-Instrumenten. In: Hülsmann M: Wurzelkanalaufbereitung mit Nickel-Titan-Instrumenten. Berlin: Quintessenz, 2002:35-46.
16. Kim JW, Griggs JA, Regan JD, Ellis RA, Cai Z. Effect of cryogenic treatment on nickel-titanium endodontic instruments. Int Endod J 2005;38:364-371.
17. Oetken M, Röttgen C, Jansen W. Die Passivität der Metalle. Praxis der Naturwissenschaften – Chemie 1996;45:15-20.
18. Edie JW, Andreasen GF, Zaytoun MP. Surface corrosion of nitinol and stainless steel under clinical conditions. Angle Orthod 1981;51:319-324.
19. Rondelli G, Vicentini B. Localized corrosion behaviour in simulated human body fluids of commercial Ni-Ti orthodontic wires. Biomaterials 1999;20:785-792.
20. Schwaninger B, Sakar NK, Foster BE. Effect of long-term immersion corrosion on the flexural properties of nitinol. Am J Orthod 1982;82:45-49.
21. Aten JC, Osetek EM, Heuer MA, Lautenschlager EP. The simulation of clinical corrosion of endodontic files. Northwest Dent Res 1994;5:3-4.
22. Busslinger A, Sener B, Barbakow F. Effects of sodium hypochlorite on nickel-titanium Lightspeed instruments. Int Endod J 1998;31:290-294.
23. Darabara M, Bourithis L, Zinelis S, Papadimitriou GD. Susceptibility to localized corrosion of stainless steel and NiTi endodontic instruments in irrigating solutions. Int Endod J 2004;37:705-710.
24. O'Hoy P, Messer H, Palamara J. The effect of cleaning procedures on the fracture properties and the corrosion of NiTi files. Int Endod J 2003;36:724-732.
25. Stokes OW, di Fiore PM, Barrs JT, Gilbert JL, Lautenschlager EP. Corrosion in stainless steel and nickel titanium files (Abstr. Nr. OR 7). J Endod 1997;23:251.
26. Stokes OW, di Fiore PM, Barrs JT, Koerber A, Gilbert JL, Lautenschlager EP. Corrosion in stainless-steel and nickel-titanium files. J Endod 1999;25:17-20.
27. Kuphaksuk C, Oshida Y, Andres CJ, Hovijitra ST, Barco MT, Brown DT. Electrochemical corrosion of titanium and titanium-based alloys. J Prosthet Dent 2001;85:195-202.



Corrosion of Nickel-Titanium Files

KEYWORDS *Corrosion, nickel-titanium, fracture, sodium hypochlorite, preparation*

The importance of corrosion of nickel-titanium (NiTi) files has been a controversial subject. Thus, the clinical influence on the fracture behaviour of the instruments is still insufficiently examined. Impressive pictures of destroyed instruments are published, but these destructions are rarely seen clinically. This article provides a brief overview of the corrosion of NiTi instruments and indicates additional questions.

Top Qualität in neuer Form.



Radix[®] fiber **post**

Der transluzente Glasfaserstift

- Adhäsive Befestigung im Wurzelkanal
- Leichte Größenunterscheidung durch farbcodierten Stiftkopf
- Endo Design

Testen Sie selbst:

Das *Radix fiber post* Test Set für nur € 25,60 UVP.

Art.-Nr. C 0614.TK-0.8 (Gr. 0,8) oder C 0614.TK-1.0 (Gr 1,0)

Zu bestellen unter der gebührenfreien DENTSPLY Service-Line 08000 735 000

DENTSPLY DeTrey GmbH | De-Trey-Str. 1 | 78467 Konstanz | www.dentsply.de

For better dentistry

DENTSPLY

MAILLEFER

Neue elastische Glasfaserstifte



**Sicheres und präzises
Wurzelstiftsystem**

Dentinähnliche Elastizität

Sehr gute Festigkeit

Biokompatibel

Röntgenopak

Zylindro-konische Form



Hotline: 07664 - 9300 - 21

Gewerbestraße 15 D-79285 Ebringen www.atec-dental.de e-mail: info@atec-dental.de