

Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift

Mitgliederzeitschrift der Deutschen Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde e.V.

Schmerzentstehung und
-kontrolle

SEITE 151

Synchrone vs. Asynchrone
Lehre: Fragebogenbasierte
Studie in der Zahnmedizin
während COVID-19

SEITE 166

Retrospektive Studie
glaskeramischer Einzelzahn-
restorationen nach bis zu
15 Jahren

SEITE 177

Vertikaler Zahnhartsubstanzen-
verlust – eine narrative Über-
sichtsarbeit

SEITEN 187 + 199



ICX-ACTIVE LIQUID

HYDROPHIL UND
MIKROSTRUKTURIERT

ICX-ACTIVE LIQUID® ist die beste Lösung gegen den frühen Implantatverlust, welcher in der kritischen Einheilphase zwischen Woche 2 und 4 nach der Implantatinsertion auftreten kann.

89,1€*
je
ICX-ACTIVE LIQUID
Implantat
*zzgl. MwSt.



- ➔ sehr gute Primärstabilität
- ➔ zuverlässige Osseointegration
- ➔ einfache und unkomplizierte Handhabung der Abutments
- ➔ übersichtlich in der implantatprothetischen Behandlung
- ➔ besonders geeignet für die Sofortversorgung

VORSPRUNG DURCH INNOVATION.

medentis
medical

www.medentis.de

DMS·6 – ein neuer Markstein der oralen Epidemiologie in Deutschland

Das Institut der Deutschen Zahnärzte (IDZ) hat im Jahr 1989 mit der Ersten Deutschen Mundgesundheitsstudie (DMS I) den Grundstein für ein bevölkerungsrepräsentatives, sozial- und oralepidemiologisches Monitoring in Deutschland gelegt. Diese Daten sind Bestandteil der Gesundheitsberichterstattung des Bundes von Robert Koch-Institut (RKI) und Destatis. Die letzte Datenerhebung erfolgte in den Jahren 2013 und 2014. Zu den Kernergebnissen dieser DMS V zählte, dass die Karieserfahrung bei Kindern mittlerweile auf ein Zehntel ihres Werts aus den 1990er-Jahren gesunken war. Erstmals konnte auch ein Rückgang der Karieserfahrung bei den Erwachsenen nachgewiesen werden – möglicherweise ein erster Hinweis auf eine nachhaltige Wirksamkeit der Individual- und Gruppenprophylaxe in der Kindheit und im Jugendalter. Schließlich haben wir gezeigt, dass wir es in der Zahnmedizin offenbar mit einer Morbiditätskompression zu tun haben, also einer Verschiebung der Erkrankungsprävalenzen in das höhere Lebensalter.

Nach fast einer Dekade ist es an der Zeit, die oralepidemiologische Datenlage in Deutschland zu aktualisieren. Die Sechste Deutsche Mundgesundheitsstudie (DMS·6) ist nun erstmals im Split-Panel-Design konzipiert, bei der – wie in der Vergangenheit auch – einerseits die typischen Index-Altersgruppen der WHO (Kinder, Erwachsene und Senioren) untersucht werden, um aktuelle Krankheitsprävalenzen zu ermitteln. Da erstmals Studienteilnehmende aus der letzten DMS erneut untersucht werden, wird es andererseits möglich sein, individuelle Krankheitsverläufe und Erkrankungsinzidenzen darzustellen. Außerdem lassen sich dadurch zum ersten Mal auch kausale Fragestellungen beantworten.

Im Sinne der partizipativen Gesundheitsforschung hat das IDZ in der Planungsphase der DMS·6 alle relevanten wissenschaftlich-zahnmedizinischen Fachgesellschaften einbezogen und Forschungsbedarfe identifiziert, die nun größtmöglich in der Studie abgedeckt werden. Daneben freuen wir uns über die hochrangig besetzten zahnmedizinischen und erweiterten Expertenkreise, bestehend aus Wissenschaftlern deutscher und internationaler Universitäten, die an der Planung und Durchführung der DMS·6 beteiligt waren und sind.

Die 5 übergeordneten wissenschaftlichen Fragestellungen der DMS·6 lassen sich in 3 Gruppen einteilen, die unterschiedliche Datenarten voraussetzen: Querschnitt, Trend und Längsschnitt.

Die ersten beiden Fragestellungen beziehen sich auf querschnittliche Daten:

1. Wie hoch sind die aktuellen Prävalenzen oraler Erkrankungen?

Die DMS·6 versucht daher, die gängigsten und schwerwiegendsten oralen Erkrankungen mit Querschnittsdaten zu erfassen.

2. Welche Assoziationen zwischen der Mundgesundheit und weiteren Personenmerkmalen gibt es?

Für die Bearbeitung dieser Frage ist es notwendig, weitere gesundheitlich relevante Probandenmerkmale wie den sozialen Status zu erheben.

Die 3. Fragestellung stellt auf den Vergleich von Querschnittsdaten mit denen der älteren deutschen Mundgesundheitsstudien ab (Trend):

3. Wie stellt sich die Entwicklung der Mundgesundheit und des Versorgungsstatus in Deutschland von 1989 bis 2023 dar?

Um diese Frage bearbeiten zu können, ist es wichtig, bei der Konzeption der DMS·6 auf eine hinreichende Kompatibilität mit den vorangegangenen Mundgesundheitsstudien zu achten.



Prof. Dr. med. dent. A. Rainer Jordan, M.Sc.
Wissenschaftlicher Direktor des IDZ

Foto: Philippe Ramakers

Die beiden letzten Fragestellungen setzen längsschnittliche Daten voraus:

4. Wie verändern sich orale Erkrankungen im Lebensverlauf?

Dafür sind Krankheitsverläufe zu messen im Sinne des Vergleichs zweier Zeitpunkte, wobei ebenfalls auf eine Kompatibilität zur 1. Messung zu achten ist.

5. Welche Probandenmerkmale beeinflussen die Entwicklung oraler (Neu-)Erkrankungen bzw. deren Progression?

Ähnlich wie bei der 3. Fragestellung ist es auch dafür von Interesse, die notwendigen Informationen zu erheben, um gesundheitlich relevante Einflussfaktoren identifizieren zu können, die zur Verbesserung oder Verschlechterung von Erkrankungen beitragen oder gar zum erstmaligen Ausbruch von Erkrankungen (Neuerkrankung) führen.



Feldstart der DMS-6 war bereits im Frühjahr 2021 mit einem Modul zur Erfassung von Zahn- und Kieferfehlstellungen bei Kindern. Die weiteren Untersuchungen beginnen im Herbst dieses Jahres und dauern bis zum Sommer 2023. Die Veröffentlichung der Ergebnisse wird in 2 Publikationswellen in den Jahren 2024 und 2025 als deutsch- und englischsprachige Artikelserien in der DZZ und DZZ International erfolgen.

Mit kollegialen Grüßen,

Professor Dr. Rainer Jordan

Autorinnen und Autoren für wissenschaftliche Beiträge gesucht

- Beschäftigen Sie sich mit einem zahnärztlichen Thema besonders intensiv?
- Möchten Sie andere an Ihrem Wissen und Ihren Erfahrungen teilhaben lassen?
- Dann schreiben Sie eine Originalarbeit, einen Übersichtsartikel oder einen Fallbericht für die DZZ – gerne in deutscher Sprache.

Nähere Informationen zum Aufbau eines wissenschaftlichen Beitrags finden Sie unter:

<https://www.online-dzz.de/autorengutachter/>

Wir beraten Sie gern! Wenn Sie eine Idee für einen wissenschaftlichen Beitrag haben, melden Sie sich gerne bei der DZZ-Schriftleitung. Unsere Kontaktdaten finden Sie auf unserer Webseite unter

<https://www.online-dzz.de/redaktion/>



RESPIRE UNTERKIEFERPROTRUSIONSSCHIENEN (UKPS) VERHELFFEN ZU GESUNDEM SCHLAF

UKPS: Zweitlinientherapie in der GKV

Respire Blue+ New Wing Design



PREISBEISPIEL

Respire Blue+

Unterkieferprotrusionsschiene,
zweiteilig, einstellbar,
hoher Tragekomfort

2 Jahre Herstellergarantie

511,32 €*

*inkl. Modelle und Versand, zzgl. MwSt.

Respire – richtlinienkonforme Unterkieferprotrusionsschienen (UKPS) zur Behandlung von leichter bis mittelschwerer Schlafapnoe.



Bestellen Sie sich Ihr kostenloses Exemplar des Respire-Kataloges.
02822-71330-22 | e.lemmer@permadental.de | kurzelinks.de/respire

Whole you™

145 **GASTEDITORIAL / GUEST EDITORIAL**
DMS-6 – ein neuer Markstein der oralen Epidemiologie in Deutschland

150 **EMPFEHLUNG DER SCHRIFTLLEITUNG / EDITORS' PICK**

PRAXIS / PRACTICE

PRAXISLETTER / CLINICAL PRACTICE CORNER

Michael Behr, Jochen Fanghänel, Charlotte Eysholdt, Woochehol Sim, Christina Huber

151 **Schmerzentstehung und -kontrolle**

Pain formation and control of pain

165 **MARKT / MARKET**

WISSENSCHAFT / RESEARCH

ORIGINALARBEITEN / ORIGINAL ARTICLES

Marius Crome, Alexander Rahman, Robin Michael Iversen, Anne-Katrin Lührs

166 **Synchrone vs. Asynchrone Lehre: Fragebogenbasierte Studie in der Zahnmedizin während COVID-19**

Synchronous vs. asynchronous education: Questionnaire-based survey in dental medicine during the COVID-19 pandemic

Kathinka Offer, Sabine Linsen, Philipp Kohorst

177 **Retrospektive Studie glaskeramischer Einzelzahnrestorationen nach bis zu 15 Jahren**

Retrospective study of glass-ceramic single tooth restorations after up to 15 years

ÜBERSICHTEN / REVIEWS

Anuschka Josephine Roesner, Angelika Rauch, Michael Behr, Marcus Oliver Ahlers, Sebastian Hahnel

187 **Vertikaler Zahnhartsubstanzverlust – eine narrative Übersichtsarbeit Teil I: Epidemiologie und Diagnostik**

Vertical tooth surface loss – a narrative review

Part I: Epidemiology and diagnosis

Anuschka Josephine Roesner, Sebastian Hahnel, Michale Behr, Angelika Rauch

199 **Vertikaler Zahnhartsubstanzverlust – eine narrative Übersichtsarbeit Teil II: Therapie und Nachsorge**

Vertical tooth surface loss – a narrative review

Part II: Therapy and aftercare

GESELLSCHAFT / SOCIETY

MITTEILUNGEN DER GESELLSCHAFT / SOCIETY NOTES

211 **Aufruf für Anträge an die Hauptversammlung der DGZMK**

212 **AMIT – Weltkongress in München soll MIH-Ursachen entschlüsseln helfen**

Mitinitiator Prof. Dr. Norbert Krämer erläutert Hintergründe und Ziele der Veranstaltung.

213 **Bewerbung für den Videopreis 2022 der AG Keramik**

213 **Tagungskalender der DGZMK**

214 **Politische Verstrickung von Zahnmedizinern im „Dritten Reich“ besonders groß**

Prof. Dr. Dominik Groß legt den ersten Band des Personenlexikons von Zahnärzten und Kieferchirurgen in der Nazi- und Nachkriegszeit vor.

215 **Braucht Frontzahn-Ästhetik Kronen und Veneers?**

Die DGZ gibt auf diese Frage auf ihrer 36. Jahrestagung im September in Würzburg Antwort.

216 **FORTBILDUNGSKURSE DER APW**

U3 **IMPRESSUM / LEGAL DISCLOSURE**

THE Graft

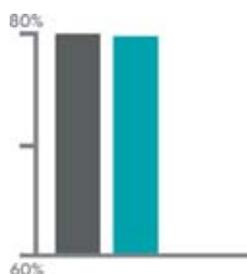
Ein sicheres und klinisch erprobtes Knochenersatzmaterial



THE Graft™ Biokompatibilität

- ✓ THE Graft™ weist eine größtmögliche strukturelle Ähnlichkeit zu humanem Knochen auf
- ✓ THE Graft™ wird aus deproteinisierter porciner Spongiosa gewonnen
- ✓ THE Graft™ hat einen sehr hohen Reinheitsgrad
- ✓ THE Graft™ besitzt ein einzigartiges interkonnektierendes Porensystem
- ✓ THE Graft™ bietet eine optimierte Knochenarchitektur für Zelladhäsionen und Geweberegeneration

Porositätsanalyse¹



Menschlicher Trabekelknochen (79,3%)
 THE Graft™ ~ 78,4%

Dem humanen Knochen näher kommen

¹Ref Human trabecular bone: Renders GA, Mulder L, van Ruijven LJ, van Eijden TM. Porosity of human mandibular condylar bone. J Anat. 2007;210(3):239-248.
 Ref THE Graft: Lee JH, Yi GS, Lee JW, Kim DJ. Physicochemical characterization of porcine bone-derived grafting material and comparison with bovine xenografts for dental applications. J Periodontal Implant Sci. 2017;47(6):388-401.

Vertikaler Zahnhartsubstanzverlust

Editors' Pick

In einer narrativen Übersicht befasst sich die Autorengruppe Roesner et al. (S. 187 und 199) mit der Epidemiologie und Diagnostik des vertikalen Zahnhartsubstanzverlusts. Die Verfasser diskutieren zunächst, dass dem vertikalen Zahnhartsubstanzverlust viele verschiedene Faktoren zugrunde liegen, die kumuliert zum irreversiblen Verlust von Hartgewebe führen. Dazu gehören u.a. Zahnhartsubstanzfehlbildungen oder Bruxismus. Um dies frühzeitig zu erkennen, ist es unbedingt erforderlich, exponierte Patienten regelmäßig zu kontrollieren und dabei auch einen geeigneten klinischen Index zur Erfassung des Verlusts anzuwenden. Eine fundierte Diagnose ist die Grundlage beispielsweise für eine prothetische Therapie, wobei wiederum verschiedene Aspekte berücksichtigt werden müssen, etwa das Alter der betroffenen Patienten.

Besonders beachtenswert finden wir, dass die Autoren nachdrücklich darauf verweisen, dass (vertikale) Verluste an Zahnhartsubstanz häufig durch Umbauvorgänge kompensiert werden – was eine Bisshebung oft nicht nur überflüssig macht, sondern gleichzeitig eine erforderliche Rekonstruktion erschwert.

Wir sind der Meinung, dass dieser Beitrag in zwei Teilen für die tägliche Praxis sehr wichtig ist, und möchten Sie deshalb zur Lektüre ermuntern. Der Artikel wird Ihnen wertvolle Impulse liefern.

Mit freundlichen Grüßen

Prof. Dr. Werner Geurtsen

Prof. Dr. Guido Heydecke



Prof. Dr. Werner Geurtsen



Prof. Dr. Guido Heydecke

Hinweis zum geschlechtergerechten Sprachgebrauch/Gendern

Da es im Deutschen derzeit keine Norm für einen geschlechtergerechten Sprachgebrauch gibt, überlassen wir den Autorinnen und Autoren, ob und wie sie gendern.

Online-Version der DZZ: www.online-dzz.de

Titelbildhinweis: Aus „Vertikaler Zahnhartsubstanzverlust – eine narrative Übersichtsarbeit, Teil II: Therapie und Nachsorge“ von Anuschka Josephine Roesner et al., Abbildungen 2 und 8: Ausgangssituation vor Beginn der Behandlung und Situation nach erfolgreicher Eingliederung der Restaurationen (Abb.: Prof. S. Hahnel)

Michael Behr, Jochen Fanghänel, Charlotte Eysholdt, Woochehol Sim, Christina Huber

Schmerzentstehung und -kontrolle

Pain formation and control of pain



Fragestellungen

Wie entsteht ein Schmerzreiz? Wie wird ein Schmerzreiz weitergeleitet? Wie entsteht ein chronischer Schmerz? Welche Schmerzkontrollmechanismen besitzt unser Körper?

Hintergrund

Der Schmerz ist ein lebensnotwendiges Sinnessystem. Es ist eine Antwort des Organismus auf einen spezifischen Reiz und stellt die Erlebnis- und Leidensfähigkeit eines körperlich oder seelisch Verletzten dar. Bislang wurde der Schmerz als ein Vorgang angesehen, der an einem zumeist lokal umschriebenen Rezeptor ausgelöst wird. Dieser Vorgang wird dann über die Axone der Nerven, ähnlich wie ein Elektrokabel, über drei Umschaltstationen in den Kortex fortgeleitet. Im Bereich des Kortex wird das Schmerzgeschehen bewusst. Diese Vorstellung trifft für akute Schmerzzustände im Wesentlichen zu. Im Fall langandauernder und chronischer Schmerzzustände wissen wir inzwischen, dass im zentralen Nervensystem (ZNS) Veränderungen nachgewiesen werden können, die die Schmerzantwort modulieren. Diese Veränderungen finden wir hauptsächlich im Bereich des Rückenmarks und in den höheren Zentren der Schmerzverarbeitung des Gehirns. Neuere Erkenntnisse zeigen [16], dass die „Beeinflussung“ der Schmerzleitung schon in der Peripherie stattfindet. Es werden beispielsweise von Makrophagen oder Bakte-

rien Botenstoffe wie TNF oder IL-1 ausgeschüttet, wodurch Schmerzintensität und -dauer verstärkt werden können. Wir bezeichnen derartige Vorgänge als periphere Sensitization. Die weiteren Stationen der Schmerzmodulation liegen in den Spinalganglien und im Rückenmark bzw. in den Trigemini-Kerngebieten. Dort beginnt die sog. zentrale Sensitization. Der bereits verstärkte Schmerzimpuls wird in den schmerzverarbeitenden Hirnarealen „etabliert“, auf weitere Körperareale ausgeweitet und mit Zentren, die Emotion, Verhalten und Gedächtnis steuern, weiter verknüpft. Wir dürfen also das Schmerzgeschehen nicht als ein aus der Peripherie per „Kabel“ in den Kortex geleitetes Ereignis verstehen, sondern als ein komplexes, wechselseitiges Beeinflussen von neuronalen und nichtneuronalen Strukturen entlang der klassischen auf- und absteigenden Schmerzbahnen.

Klassifizierung und Beschreibung von Schmerzen

Im Fall des Auftretens von Schmerzen differenzieren wir zwischen peripherer und zentraler Schmerzauslösung sowie somatischen, viszeralen, zentralen oder psychogenen Schmerzen [8, 23].

Periphere Schmerzauslösung

Beim somatischen Schmerz unterscheiden wir den Oberflächenschmerz, der bei der Reizung der Haut entsteht, vom Tiefenschmerz, der in Bindegewebe, Muskulatur, Knochen oder Gelenkstrukturen seinen Ursprung hat. Der Oberflächenschmerz ist zumeist hell und spitz. Er lässt sich gut lokalisieren und klingt rasch ab. Diesem Schmerz folgt der tiefe Schmerz. Er ist dumpf, schlechter lokalisierbar und strahlt in die Umgebung aus (Tab. 1) [22].

Auch der viszerale oder Eingeweideschmerz ist dumpf. Er ist begleitet

Somatischer Schmerz	Viszeraler Schmerz
<p>Oberflächenschmerz</p> <ul style="list-style-type: none"> – hell – spitz, schneidend – gut lokalisierbar <p>Tiefer Schmerz</p> <ul style="list-style-type: none"> – dumpf – schlecht lokalisierbar – ausstrahlend – anhaltend – Patient nimmt ruhige Schonhaltung ein 	<p>Eingeweideschmerz</p> <ul style="list-style-type: none"> – dumpf – unscharf lokalisiert – anfallsweise („Koliken“) – Patient wälzt sich unruhig hin und her oder läuft im Zimmer umher – begleitet von vegetativen Erscheinungen

Tabelle 1 Vergleich von somatischen und viszeralen Schmerz; verändert nach Lippert [22]

Zitierweise: Behr M, Fanghänel J, Eysholdt C, Sim W, Huber C: Schmerzentstehung und -kontrollen. Dtsch Zahnärztl Z 2022; 77: 151–164
DOI.org/10.53180/dzz.2022.0013

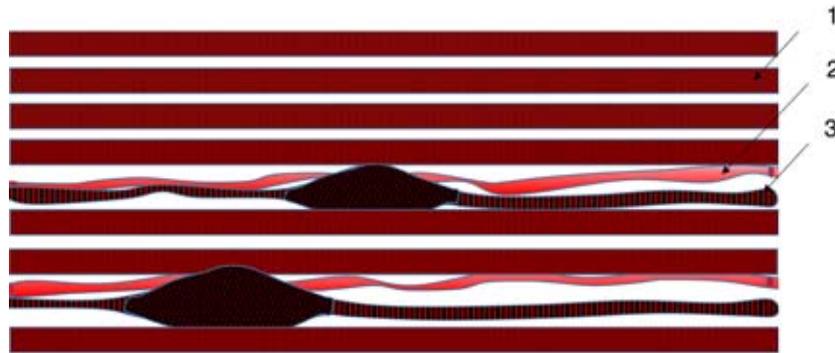


Abbildung 1 Longitudinale Ansicht von Skelettmuskelfasern mit Triggerpunkten/-knoten. 1 = normale Faser, 2 = Kapillare, 3 = geschädigte Muskelfaser. Knotenförmige Verdickung (akzentuiert), in der die A-Bänder verdichtet erscheinen, sodass sie nicht mehr als Bandstruktur erkennbar sind. Außerhalb der knotenförmigen Verdickung stellen sich die A-Bänder als auseinandergezogen dar. Durch die lokale Verdickung der Faser werden die begleitenden Kapillaren komprimiert. Es entsteht eine lokale Ischämie.

von vegetativen Erscheinungen wie Übelkeit oder Erbrechen. Ursache sind Entzündungen in Organsystemen sowie Spasmen der glatten (Eingeweide-)Muskulatur [8].

Der Ort der Schmerzauslösung ist nicht immer identisch mit dem Ort oder der Region, in der der Schmerz empfunden wird. Wir unterscheiden in derartigen Fällen zwischen projiziertem und übertragenem Schmerz:

- **Projizierter Schmerz.** Die Ursache ist eine Irritation oder Läsion eines Spinalnerven oder einer dorsalen Nervenwurzel, beispielsweise Reizung des N. ulnaris, wenn wir uns den Ellenbogen stoßen. Die Irritation des Nervs erfolgt zwar im Sulcus ulnaris, der Reiz wird aber auch in den kleinen Finger projiziert. Die Irritation/Läsion führt zu einer zentripetalen Auslösung von Aktionspotenzialen im Bereich der Seite der Läsion/Irritation. Der projizierte Schmerz ist daher spezifisch im Ausbreitungsgebiet des betroffenen Nervs zu spüren.
- **Übertragener Schmerz.** Afferenzen aus den Organen und der Haut konvergieren im Hinterhorn des Rückenmarks. Daher werden beispielsweise Störungen der Durchblutung im Herzen aufgrund der Konvergenz als Schmerz in dem zugehörigen Dermatome empfunden (Head-Zonen). Wir sprechen von übertragenem Schmerz. Für die drei Äste des N. trigeminus lassen sich spezifische Dermatome finden, die

auf Störungen der vom Trigeminus versorgten Strukturen und Organe (Schleimhaut der Stirnhöhlen, Speicheldrüsen, Zunge) mit Schmerzempfindungen reagieren. Nicht nur eine Schädigung der Organe, auch die Schädigung der Muskulatur, der Sehnen und Faszien kann zu übertragenen Schmerzen führen. Dieser myofasziale Schmerz wurde früher ausschließlich als ein von Triggerpunkten (Muskel) verursachter Schmerz definiert [37]. Gegenwärtig wird zunehmend der myofasziale Schmerz als ein Schmerz angesehen, der von Weichgeweben (auch Sehnen, Faszien) ausgeht. Da nach wie vor der „klassische“ (muskuläre) Triggerpunktschmerz in der Diagnostik der kranio-mandibulären Dysfunktionen eine wichtige Rolle spielt, soll er in der klassischen Definition näher betrachtet werden.

- **Triggerpunktschmerz.** Ein Triggerpunkt ist ein auf Palpation schmerzhaftes Knötchen im Verlauf eines harten gespannten Bandes der Muskelfasern [25]. Elektronenmikroskopische Aufnahmen von Triggerpunktarealen im Muskel zeigen im Bereich des A-Bandes (Bereich mit überwiegend dicken Myosinfilamenten) einer Myofibrille eine Verdichtung und Verbreiterung der A-Bänder, während die I-Bänder (Aktinfilamente) auseinandergezogen wirken. Die Abstände zwischen I- und A-Bän-

dern, die sonst in der Ansicht die Streifung des Skelettmuskels verursachen, sind im Bereich einiger A-Bänder eines Triggerpunktes weitgehend verschwunden. Kapillaren (Abb. 1), die das Myosinfilament zur Sicherstellung der Energieversorgung begleiten (Ca^{2+} , ATP), erscheinen komprimiert. Die Myofibrille ist aufgrund der unterbrochenen Energiezufuhr „steif“. Daher finden wir im Triggerpunkt auch keine EMG-Aktivität. Die Bezeichnung der Triggerpunkte als „Kontraktionsknoten“ (engl. contraction knots) ist somit irreführend [25]. Eine Kontraktion des Sarkomers bedürfte darüber hinaus der elektrischen Aktivität der motorischen Endplatte und würde mehrere Myofibrillen aktivieren, auch diejenigen ohne Veränderung in den A-Bändern.

Die Kompression der die Myosinfilamente begleitenden Kapillaren und die dadurch bedingte Minderversorgung mit Blut könnten auch erklären, warum nichtsteroidale Analgetika bei Triggerpunkten kaum Wirkung zeigen. Es fehlt die dazu notwendige Blutzirkulation. Das per os verabreichte Medikament erreicht seinen Wirkort nicht. Eine direkte Applikation vor Ort brachte in einer Studie von Frost [12] eine bessere Schmerzreduktion.

Zentrale Schmerzauslösung

Schädigungen der auf- und absteigenden Schmerzbahnsysteme, beispiels-

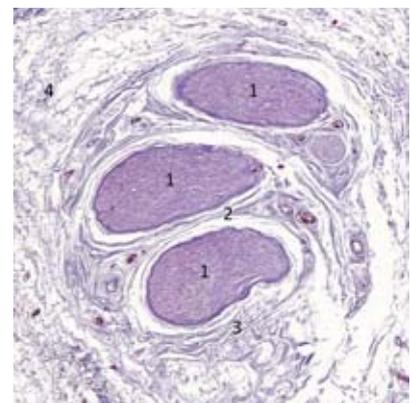


Abbildung 2 Peripherer Nerv mit Endoneurium (1), Perineurium (2), Epineurium (3) und lockeres Bindegewebe (4). Färbung: Kresazan, Vergrößerung: 40x.

Abb. 2: B. Mische

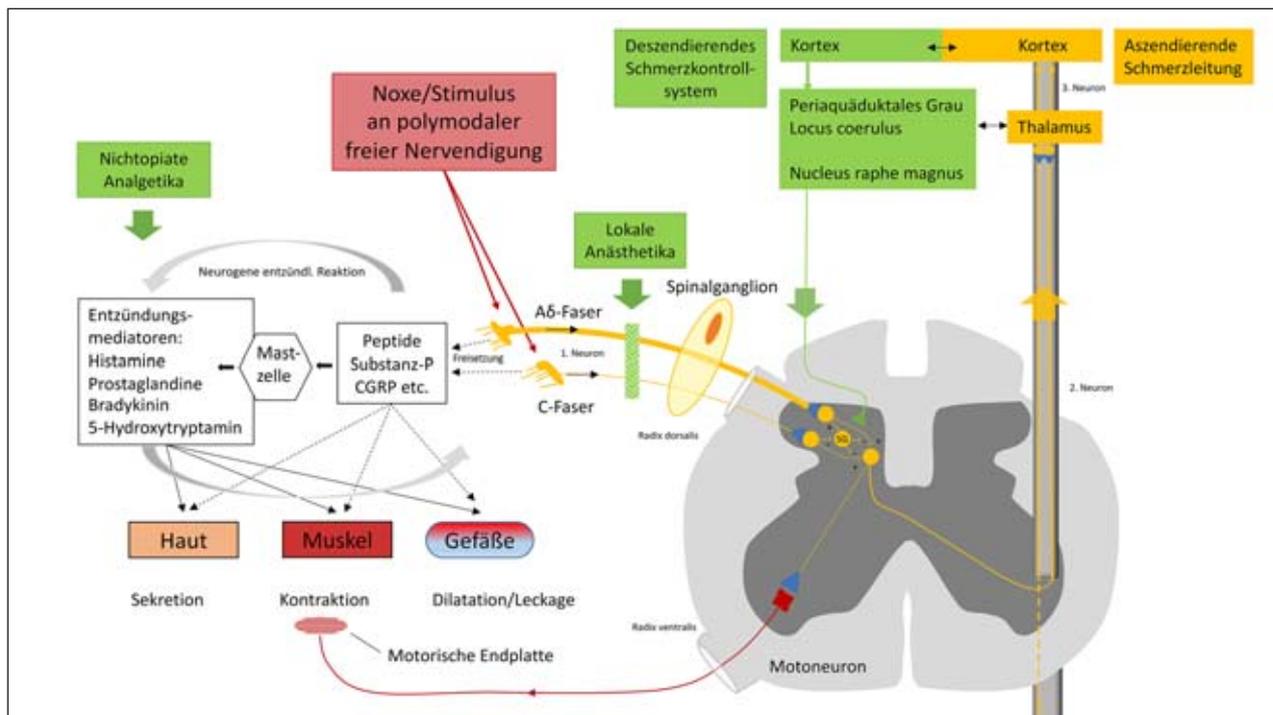


Abbildung 3 Darstellung der Leitung eines Schmerzimpulses (Pfeile) mittels Aδ-Fasern und C-Fasern von der Peripherie in das Rückenmark. Die Reizantwort des Nozizeptors unterliegt bereits am Ort der Schädigung einer wechselseitigen Modifikation durch verschiedene Mediatoren, die von Bakterien, Viren, nichtneuronalen Zellen oder vom Rezeptor selbst stammen können. Weiterhin wird die Reizantwort der Aδ- und C-Fasern im Rückenmark modifiziert. Gemäß der Gate-control-Theorie (s. Text) kann die Reizantwort abgeschwächt oder verstärkt werden. Weitere Anpassungen erfolgen über das ZNS und deszendierende Schmerzbahnen, was der Kontrolle höherer Hirnareale unterliegt. Die therapeutische Beeinflussung des Schmerzes erfolgt in der Zahnmedizin zumeist durch Analgetika und Lokalanästhetika (SG = Substantia gelatinosa, CGRP = calcitonin-gene-related peptide).

weise durch einen ischämischen Insult nach einem Trauma, werden als zentraler Schmerz bezeichnet. Häufig ist der Thalamus „Schaltzentrale oder auch Zentrum der Sensibilität“ für derartige Schmerzen, weshalb wir dann auch von Thalamusschmerz sprechen. Im Thalamus werden alle sensorischen (Berührung, Schmerz, Temperatur usw.) Informationen aus dem gesamten Körper verarbeitet, bevor sie zur weiteren Bewertung und Bewusstwerdung in die Körperfühlsphäre weitergeleitet werden. Nach zerebrovaskulären Insulten treten (mitunter Monate oder auch Jahre später) infolge der Schädigung der Reizverarbeitung im Thalamus Missempfindungen wie Taubheit, Kribbeln und dauerhafte oder intermittierende Schmerzen auf, die von Temperaturmissempfindungen begleitet werden [7]. Die Formen der zentralen Schmerzauslösung können vielfältig sein. Auch der Phantomschmerz, beispielsweise im amputierten Bein, Zahnschmerz trotz Extraktion, zählt zu den zentralen Störungen.

Eine Besonderheit der zentralen Schmerzauslösung ist der psychogene Schmerz beispielsweise bei nicht bewältigten Problemen. In seinem Fall lassen sich keine somatischen Ursachen feststellen, sodass alle Maßnahmen einer somatischen Schmerzausschaltung in der Regel erfolglos bleiben [8].

Strukturen und Prozesse der Schmerzauslösung, -verstärkung, -hemmung

Schmerzrezeptoren/Nervenfasern

Die meisten Schmerzrezeptoren, Nozizeptoren, sind polymodal. Das bedeutet, dass ein Nozizeptor auf verschiedene physikalische, chemische oder thermische Reize reagieren kann. Ein Nozizeptor besteht aus varikös aufgetriebenen Endverzweigungen eines Nerven (Abb. 2). Die Endverzweigungen sind nicht von Schwannzellen umhüllt; sie wirken wie eine Antennenverstärkung. In der Umgebung der Endverzweigungen liegen zahlreiche Mitochondrien und Vesi-

kel, die die Energie und die Stoffwechselprodukte bereitstellen, die für die Funktion notwendig sind. Darüber hinaus unterstützen Neuropeptide die Funktion der Nozizeptoren. Eine unterschätzte Rolle spielt auch die Ernährung. Eine Übersäuerung der Interzellulärschicht als Grundlage des Stoffwechsels beeinflusst die Nozizeption ebenso wie die häufige Einnahme beispielsweise glutamathaltiger Nahrungsmittel [10, 36].

Die afferente Weiterleitung des Schmerzimpulses erfolgt über dünne, langsam leitende C-Fasern und dicke, schnell leitende Aδ-Fasern. Die Impulsfortleitung innerhalb einer Nervenzelle ist dadurch gesichert, dass die elektrischen Potenzialänderungen innerhalb einer Nervenzelle auf unmittelbar benachbarte Zellabschnitte übertragen und somit bis zur nächsten Synapse, wie bei einer Relaischaltung, ständig „wieder aufgefrischt“ werden. Verschiebt sich das Ruhepotenzial über einen Schwellenwert, so ändert sich die Permeabilität der Membran für Natriumionen an

dieser Stelle und löst lokal in der Zellwand ein Aktionspotenzial aus [19]. Dieses Aktionspotenzial wird über die Membran der Nervenfasern bis zu deren Endpunkt fortgeleitet. Der Impuls ist eine „Alles oder Nichts“-Kommunikationseinheit. Eine Modulation der Informationsübertragung kann nur über eine Variation von Anzahl und Zeitintervallen erfolgen. Diese relativ einfache Art der Kommunikationsübertragung erfordert bei komplexen Lebewesen eine unvorstellbar hohe Zahl an Nervenzellen, um die Impulse zu modulieren. Andererseits ist ein sehr leistungs- und anpassungsfähiges Kommunikationssystem entstanden, das aus einfachen Bausteinen wie Natrium- und Kaliumionen (u.a.) sowie Lipiden und Aminosäuren aufgebaut ist [19].

Aszendierende Bahnen der Schmerzleitung. Vom Nozizeptor zum Rückenmark/Trigeminuskern

Impulse von C-Fasern und schnell leitenden A δ -Fasern treten im Fall einer Schmerzauslösung in das Hinter-

horn des Rückenmarks ein (Abb. 3, Abb. 4). Beim N. trigeminus und anderen Hirnnerven übernehmen die Zellen der Nuclei trigemini die „Funktionen des Rückenmarks“ (Abb. 5). Somit sind die Trigeminuskern strukturell vergleichbar mit dem Rückenmark. Im Rückenmark teilt sich der Nervenstrang. Ein Teil tritt in die Substantia gelatinosa über und verläuft im Hinterstrang zu den Kerngebieten der gleichen Seite (Nucleus cuneatus und Nucleus gracilis). Der andere Teil verbleibt in der grauen Substanz. Er bildet eine synaptische Verbindung zu der ebenfalls in die graue Substanz einlaufenden dünnen C-Faser und hemmt deren Impulsweiterleitung. Da die C-Faser den Schmerzimpuls langsamer und damit zeitlich verzögert leitet, erfolgt zunächst eine Hemmung durch die schnellere A δ -Faser. Diese Art der Hemmung wird in der Gate-Control-Theorie beschrieben [24] (Abb. 3). Die schnellere A δ -Faser schließt das „Tor“ für die langsamere C-Faser. Verringert sich die Impulsrate der A δ -Fasern, öffnet sich das „Tor“ wieder. Zu

beachten ist auch die Tatsache, dass die Zahl der C-Fasern die der A δ -Fasern überwiegt, sodass bei intensiven Schmerzreizen die C-Fasern immer weniger gehemmt werden und ihre Impulse auf das 2. Neuron im Rückenmark/Trigeminuskern weiter-schalten können [24].

Nozizeptive Impulse im Gebiet des N. trigeminus oder anderer Hirnnerven wie des N. facialis, des N. glossopharyngeus oder N. vagus werden überwiegend von dünnen C- und A δ -Fasern und mechanotaktile Impulse von niedrigschwelliger dickeren A δ -Fasern weitergeleitet. Während die „reinen“ Nozizeptoren der dünnen C- und A δ -Fasern ein relativ kleines rezeptives Feld aufweisen und beispielsweise in der Zahnpulpa lokalisiert sein können, besitzen die niedrigschwelligeren Mechanorezeptoren ein größeres rezeptives Feld (wide dynamic range, WDR). Sie befinden sich zumeist peripher in der Gesichtshaut. Bei länger andauernden Schmerzreizen werden zunehmend die lokalen Mechanorezeptoren ange-regt, die ähnlich wie die schnellen

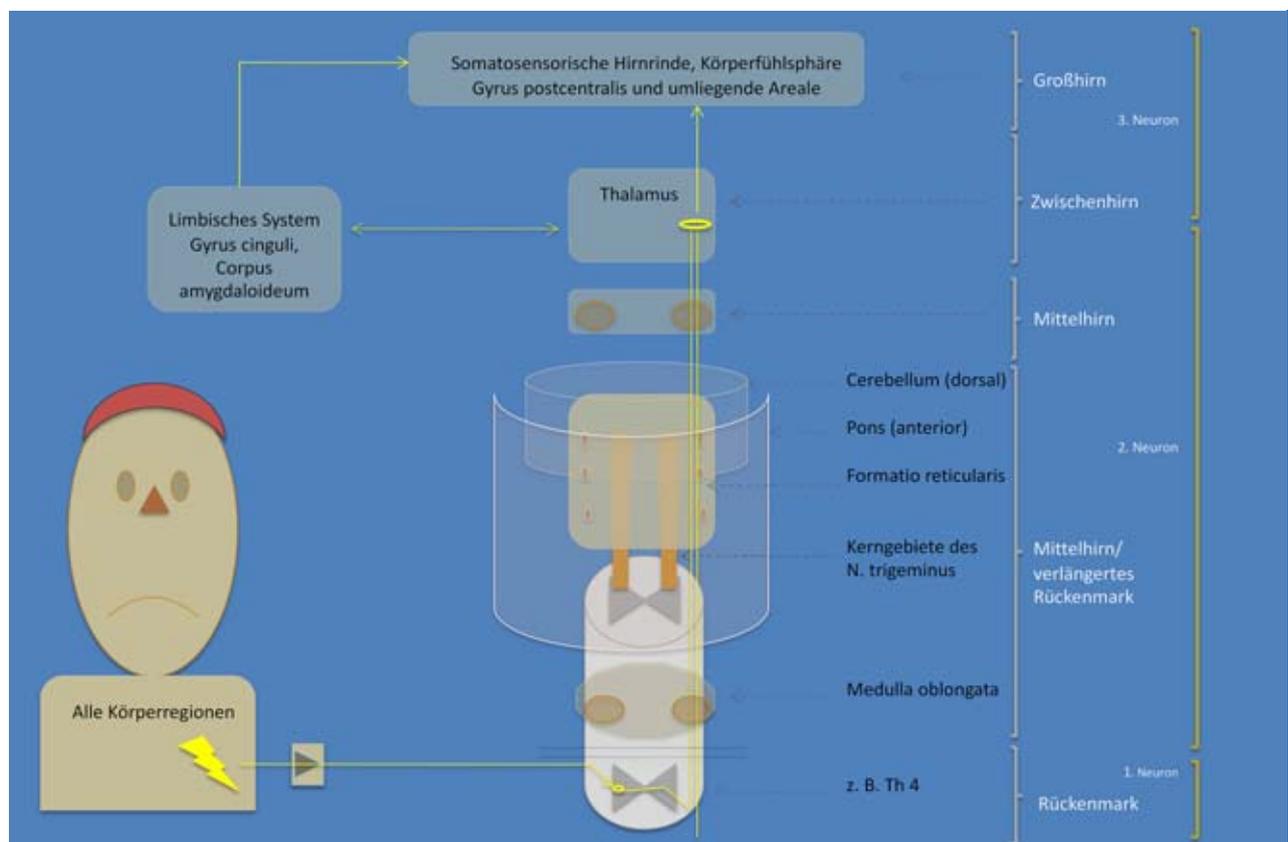


Abbildung 4 Schematische Darstellung der aufsteigenden Schmerzbahnen mit ihren drei Neuronen außerhalb des Trigeminussystems im Organismus

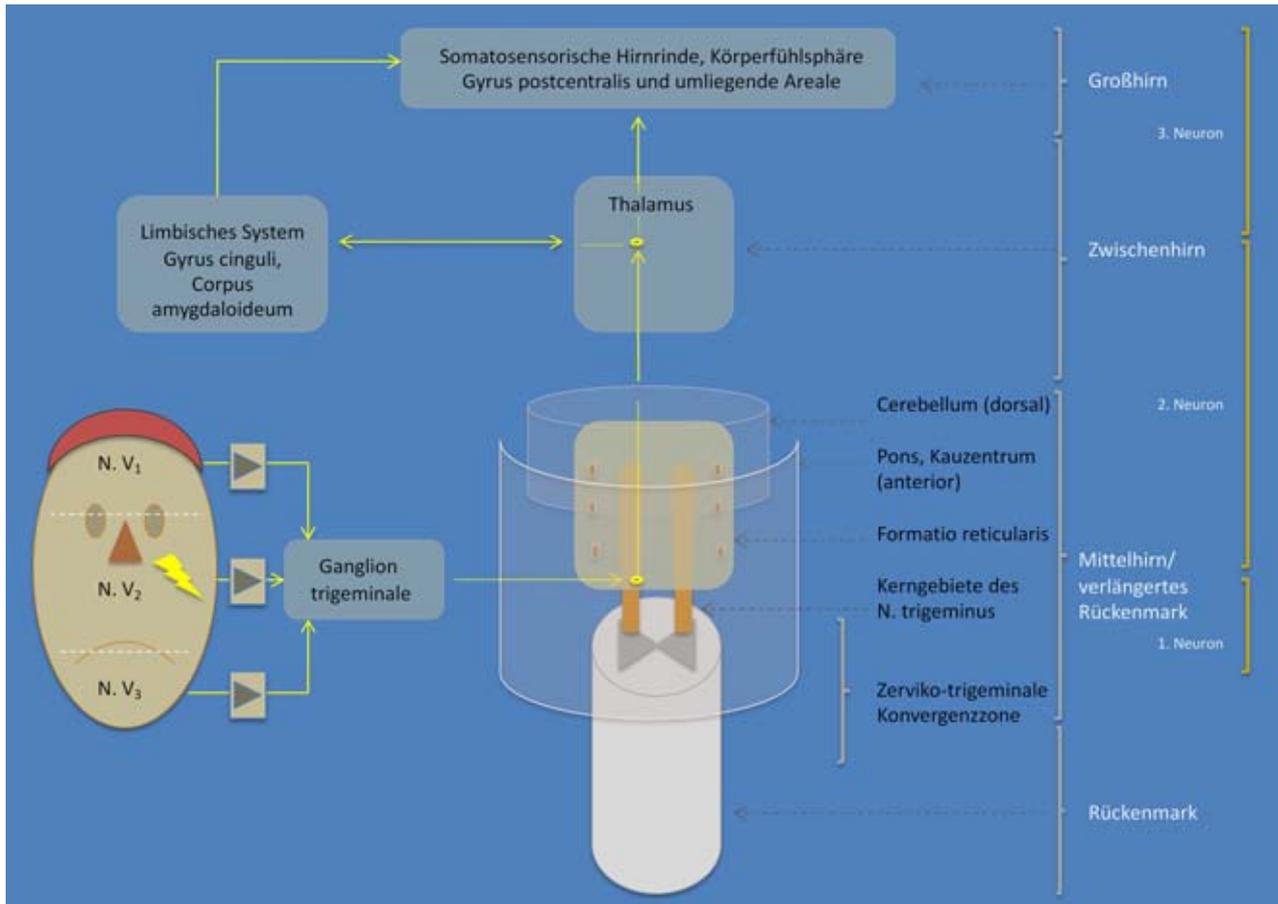


Abbildung 5 Schematische Darstellung der aufsteigenden Trigeminus(schmerz)bahn. Die Unterteilung der Bahn in drei Neurone unterscheidet sich nicht von den Schmerzbahnen in anderen Bereich des Organismus (s. Abb. 4).

A δ -Fasern auf Rückenmark-/Trigeminusebene die C-Fasern hemmen können. Diese Tatsache lässt sich beispielsweise in der Physiotherapie nutzen, da moderate Bewegungen schmerzlindernd wirken [11].

Die afferenten nozizeptiven Fasern laufen vom rezeptiven Feld zunächst Richtung Ganglion (Ort der Zellkerne), etwa des Ganglion trigeminale (Gasser; N. V) oder des Ganglion oticum (N. VII), und enden für alle Hirnnerven mit nozizeptiver Leitung überwiegend am kaudalen Teil des spinalen Trigeminuskerns. Die rein nozizeptiven C- und A δ -Fasern strahlen überwiegend in die Laminae I, II, V und VI der Trigeminuskern ein, während die Afferenzen der WDR-Neurone in den Laminae III bis VI sowie den rostralen Bereichen der Trigeminuskern enden. Durch diese „Streuung“ der Impulseingänge ist es den weiterfolgenden zentralen Stellen des Gehirns einerseits möglich, den Ort der Schmerzquelle zu lokali-

sieren, andererseits führt die Überlappung zu Problemen in der Diskriminanz.

Es ist festzuhalten, dass die Pars caudalis des spinalen Trigeminuskerns das Hauptkerngebiet darstellt, in dem nozizeptive Afferenzen der Hirnnerven weiter auf das 2. Neuron geschaltet werden. Über den Tractus trigeminothalamicus lateralis und den Tractus spinothalamicus werden die Erregungen, nach Kreuzung zur Gegenseite, zum Thalamus weitergeleitet.

Veränderungen des Nervensystems bei langanhaltenden Schmerzen und Entwicklung chronischer Schmerzen

Der chronische Schmerz kann als biopsychosoziale Erkrankung aufgefasst werden. Die Chronifizierung von Schmerzen ist kein Problem der Zeit, sondern der Zunahme von beteiligten somatischen und psychosozialen Faktoren, von genetischen Faktoren

[36] sowie der Ausbreitung der Beschwerden selbst.

Periphere Sensitization finden wir (peripher) in den Nozizeptoren, Neuronen und Satellitengliazellen. Diese Veränderungen tragen zur Entwicklung chronischer Schmerzzustände bei. Bei der weiteren Verarbeitung des Schmerzimpulses tritt die zentrale Sensitization in Rückenmark/Trigeminuskernen und in schmerzverarbeitenden Hirnarealen hinzu. Diese Form der Sensitization „etabliert“ den chronischen Schmerz (Abb. 6), breitet ihn auf weitere Körperareale aus und verknüpft das Schmerzgeschehen mit Zentren, die Emotion und Verhalten steuern [16].

Die Entwicklung chronischer Schmerzen wird nach neueren Erkenntnissen vor allem auch mit der Steigerung der Aktivität peripherer sowie zentraler Gliazellen in Verbindung gebracht. Einige Autoren sprechen auch von einer „Gliopathie“ als Ursache chronischer Schmerzen.

Wir unterscheiden in der Peripherie Gliazellen wie die Schwann-Zellen, die die Neurone begleiten, und Satellitengliazellen, die sich in den dorsalen Ganglien vor Eintritt des Nervs in das Rückenmark und in den Ganglien des N. trigeminus befinden, von zentralen Gliazellen. Zentren der Gliazellen sind Mikrogliazellen, Astrozyten und Oligodendrozyten. Sie befinden sich im Rückenmark und in den Trigemuskerngebieten.

Änderungen der Schmerzverarbeitung in der Peripherie

Im Falle der Schädigung von Geweben unseres Körpers durch sog. PAMP (pathogen-activated molecular patterns), ausgelöst durch Bakterien, Viren, oder DAMP (danger-activated molecular patterns), aktiviert durch mechanische oder physikalische Insulte (Temperatur, pH-Wert), werden an den Zellenwänden spezielle Liganden freigesetzt [16]. Eine solche Gruppe bilden die toll-like receptors (TLR). Bei Gewebeschädigungen werden beispielsweise TLR4 und TLR7 aktiviert. TLRs agieren bilateral zwischen neuronalen und nichtneurona-

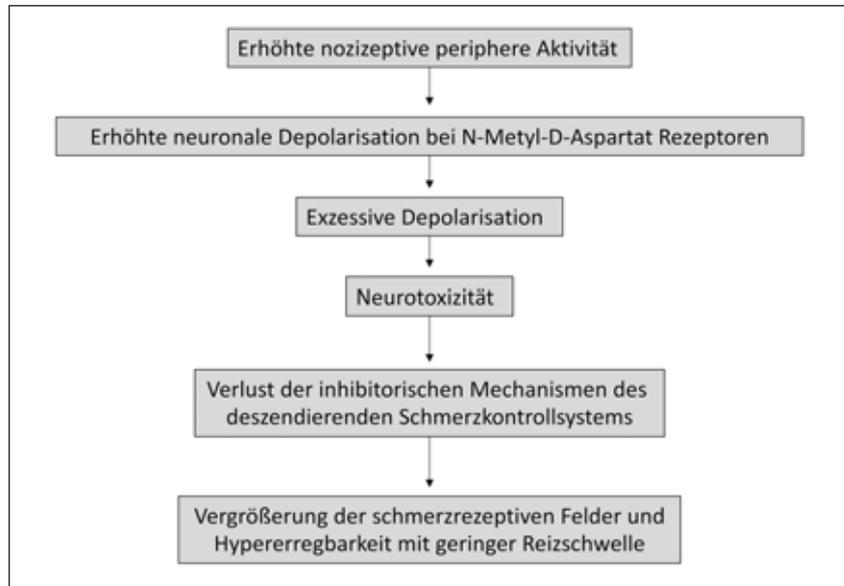


Abbildung 6 Modellvorstellung der Entstehung chronischer Schmerzzustände

len Zellen. Sie aktivieren die Freisetzung von $\text{TNF}\alpha$ und $\text{IL-1}\beta$ und verstärken somit in den peripheren Nozizeptoren die Auslösung des Schmerzreizes (Abb. 7). Als inflammatorisches Zytokin ist $\text{IL-1}\beta$ seit längerer Zeit bekannt [9]. Durch eine Phosphorylierungsreaktion ver-

ändern $\text{IL-1}\beta$ und $\text{TNF}\alpha$ die Durchlässigkeit der Na-Kanäle ($\text{Nav}_v1.8$, $\text{Nav}_v1.9$) in der Zellwand einer Nervenzelle und generieren verstärkte Aktionspotenziale. Diese Veränderung äußert sich dann in einer mechanischen wie thermischen Hyperalgesie [33].

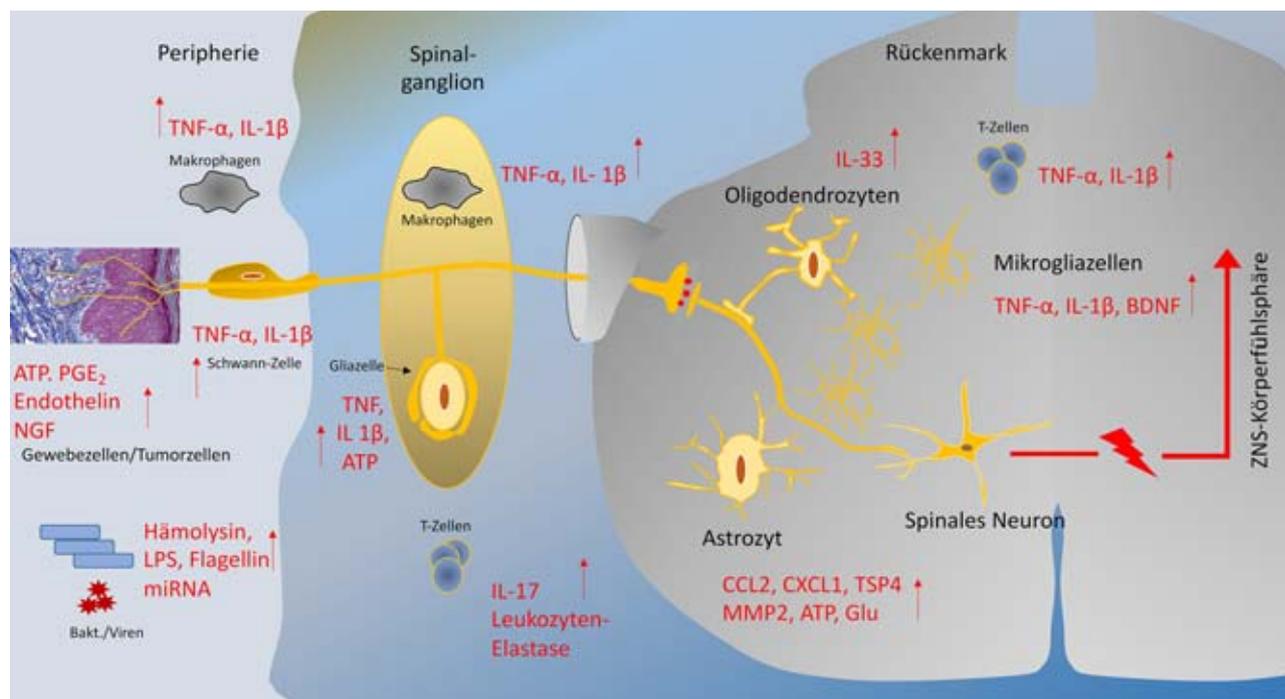


Abbildung 7 Darstellung der möglichen Mechanismen, die auf lokaler Ebene sowie auf dem Weg zum und im Rückenmark auf die Schmerzleitung einwirken und zu einer erniedrigten Schmerzschwelle bzw. chronischen Schmerzen führen können. ATP = Adenosintri-phosphat, BDNF = brain-derived neurotrophic factor, CSF-1 = (macrophage) colony-stimulating factor receptor, CCL2 = Chemokinligand 2; CXCL1 = C-X-C-Motif-Chemokineligand 1, Glu = Glutamat, IL = Interleukin; LPS = Lipopolysaccharide, MMP2 = Matrix-Metalloproteinase-2, NGF = nerve growth factor, PGE_2 = Prostaglandin E_2 , TSP4 = Thrombospondin-4, TNF = Tumornekrosefaktor.

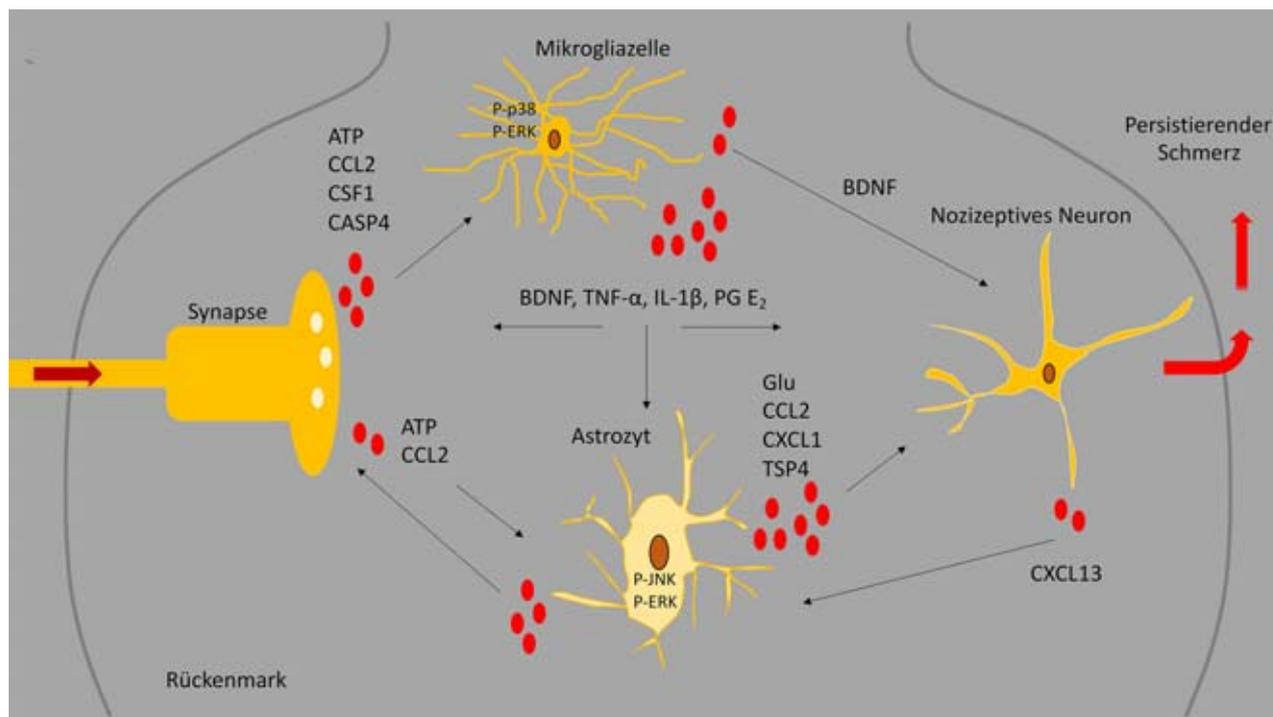


Abbildung 8 Mögliche Wechselwirkungen zwischen Synapsen, Mikrogliazellen, Astrozyten und nozizeptiven Neuronen im Rückenmark bei persistierenden Schmerzzuständen. ATP = Adenosintriphosphat, BDNF = brain-derived neurotrophic factor, CASP 4 = Caspase 4, CSF-1 = (macrophage) colony-stimulating factor receptor, CCL2 = CC-Chemokinligand 2; CXCL1 = C-X-C-Motif-Chemokinligand 1, Glu = Glutamat, IL = Interleukin; LPS = Lipopolysaccharide, MMP2 = Matrix-Metalloproteinase-2, NGF = nerve growth factor, PGE₂ = Prostaglandin E₂, P JNK = phosphorylated Jun N-terminal kinase (stress-activated phospho-kinase), J-ERK = phosphorylated extracellular signal-regulated kinases, TSP4 = Thrombospondin-4, TNF = Tumornekrosefaktor

Die Innervation von Geweben mit hoher turn-over rate wie der Schleimhaut ist ein dynamischer Prozess und bedarf der Modulation durch neurotrophe Faktoren wie den nerve growth factor (NGF). Dieser Faktor wird auch bei Entzündungen von Immunzellen freigesetzt. Er bindet an die Tropomyosin-Rezeptorkinase A (TrkA), einen katalytischen Rezeptor für den o.g. Nervenwachstumsfaktor, der eine Signalkaskade an den Zellkern auslöst. In der Folge kommt es zur Differenzierung der Nervenzelle. Es bilden sich Aussprossungen der Nervenzelle, die zu einer verstärkten Reizantwort der Nozizeptoren beitragen [9].

Bakterien und Viren wirken nicht nur indirekt über die Freisetzung von Entzündungsmediatoren ihrerseits, sie können auch direkt den Nozizeptor beeinflussen. Bakterien, die α-Hämolyysin freisetzen (*Staphylococcus aureus*), ändern beispielsweise über Hämolyysin die Zellmembran des Nozizeptors so, dass in der Zellmembran Kanäle entstehen, die Kationen einströmen lassen. So wird ein Aktions-

potenzial ausgelöst [4]. Die Schmerzverarbeitung unterliegt also bereits in der Region ihres Ursprungs zahlreichen Einflüssen, die die Frequenz der Auslösung von Aktionspotenzialen der Nozizeptoren mitbestimmen (Abb. 3).

Die weitere Modulation der Schmerzimpulse erfolgt in den Spinalganglien vor Eintritt in das Rückenmark/die Trigemuskern, aber auch in den Ganglien von Sympathikus und Parasympathikus. Dort liegen sog. Satellitengliazellen, die von der Neuralleiste abstammen. Jede Satellitengliazelle hat, im Gegensatz zu Astrozyten, nur zu einem Neuron Kontakte. Dieses Neuron ummantelt die Satellitengliazellen mit dünnen, schalenartigen Zellkörpern. Nervenschädigungen, aber auch Entzündungen [39] veranlassen diese Gliazellen, ATP, TNFα, IL 1β vermehrt auszuschütten, was die Schmerzauslösung verstärkt [16] (Abb. 7). Die Reaktion der Satellitengliazellen erfolgt rasch nach Nervenverletzungen innerhalb von vier Stunden. Sie erreicht ihren Höhepunkt nach einer

Woche und klingt nach drei Wochen langsam ab.

Änderungen der Schmerzverarbeitung im ZNS

An der Verarbeitung von Schmerzreizen im ZNS, zunächst im Rückenmark und in den Trigemuskernen, sind Mikrogliazellen, Astrozyten und Oligodendrozyten beteiligt (Abb. 8). Insbesondere Mikrogliazellen sind schon bei geringen pathologischen Veränderungen im ZNS aktiv [15]. Mikrogliazellen sind kleine, spindelförmige Zellen mit zahlreichen feinerästelten Fortsätzen, die zumeist direkten Kontakt zu Synapsen haben und damit deren Funktion beeinflussen können. Mikrogliazellen stammen von Monozyten ab. Daher wurde ihre Aufgabe ursprünglich in der Entzündungsabwehr im Hirngewebe und in der Phagozytose geschädigter Areale gesehen. Inzwischen weisen wir ihnen eine wichtige Funktion in der Steuerung und Beeinflussung von Neuronen zu [15].

Von geschädigten oder sensorisch aktivierten Neuronen empfan-

gen die Mikrogliazellen proinflammatorische Mediatoren wie ATP, colony-stimulating factor-1 (CSF1), Chemokine (CCL2, CX3CL1) und Proteasen [15]. Dies führt innerhalb von zwei Tagen zu einer Proliferation der Mikrogliazellen, was an speziellen Markern wie CCR3 (chemokine receptor type 3) und IBA1 (ionized calcium-binding adaptor molecule-1) nachgewiesen werden kann. Wir sprechen in dieser Phase von einer Aktivierung der Gliazellen. In der weiteren Entwicklung von chronischen Schmerzen scheint die weitere Aktivierung der Gliazellen durch sog. MAP-Kinasen (mitogen-activated protein) (Phosphorylierungsreaktion) eine besondere Bedeutung zu haben. Zu Familie der MAP-Kinasen gehören die extrazellulär regulierenden Kinasen 1 und 2 (ERK1, ERK2), p 38 und die c-Jun terminale Kinase (JNK). MAP-Kinasen regulieren die Zellentwicklung bis hin zum Zelltod. Im Tierexperiment konnte die gezielte lokale Gabe von MAP-Kinase-Inhibitoren eine Schmerzhemmung erzielen [17] (Abb. 8).

In der Folge sezernieren die Mikrogliazellen $\text{TNF}\alpha$, IL-1 β , IL-18, den brain-derived nerve growth factor (BDNF) sowie eine Cyclooxygenase (COX), die die Synthese des Entzündungsmediators Prostaglandin E2 veranlasst. $\text{TNF}\alpha$, IL-1 β verstärken exzitatorische und hemmen inhibitorische synaptische Verbindungen im ZNS. Auch BDNF ändert die Signalweiterleitung in den Synapsen der projizierenden Neurone, die in die Lamina I im Rückenmark einstrahlen. Durch eine Änderung des Chloridionenstoffwechsels hebt BDNF die inhibitorische Wirkung des GABA-Mediators (γ -Aminobuttersäure) auf und verstärkt somit die Reizweiterleitung [6].

Astrozyten (Makrogliazellen) gehen wie die Nervenzellen aus dem Neuroektoderm hervor. Fibröse Astrozyten tragen lange verzweigte Fortsätze. Sie kommen in der weißen Substanz des Rückenmarks vor. Ihre Aufgabe wurde ursprünglich darin gesehen, Nervenzellen zu stützen und zu ernähren. Sie scheinen aber darüber hinaus auch bei neurologischen Erkrankungen wie Krämpfen, beim Schlaganfall und diversen Ischämien

eine Rolle zu spielen [20]. Astrozyten formen Netzwerke, die durch gap junctions miteinander Signale austauschen können. Astrozyten haben intensiven Kontakt zu Synapsen und zerebralen Blutgefäßen, verfügen über einen Einfluss auf die Blutflussrate im Gehirn und bauen die Blut-Hirn-Schranke auf. Weiterhin recyceln Astrozyten Transmittersubstanzen, regulieren die extrazelluläre Ionenkonzentration und modulieren die synaptische Aktivität und übernehmen dadurch eine Funktion in der Modulation der Verstärkung bzw. Abschwächung von Schmerzreizen [15].

Weiterführende aufsteigende Schmerzbahnen.

Vom Rückenmark/Trigeminuskern zum Kortex

Ausgehend vom Nozizeptor hat der Schmerzimpuls auf seinem aufsteigenden Weg über das Neuron, das Ganglion und das Rückenmark/den Trigeminuskern bereits einige Modifikationen erfahren. Jetzt steigt der Schmerzreiz in Richtung Thalamus. Der Thalamus erhält zusätzliche Impulse aus der Formatio reticularis des unteren Hirnstamms und aus dem zentralen Höhlengrau. Diese beiden Strukturen sind Ursprungsorte und zentrale Schaltstellen des endogenen Schmerzhemmungssystems. Für die Schmerzleitung im Gesicht scheint ein internuklearer Tractus von Bedeutung zu sein. Seine Fasern verlaufen vom Nucleus caudatus zum Nucleus principalis des N. trigeminus. Dieser Tractus kreuzt dann die Seite in Höhe der Brücke und schließt sich dem Tractus trigeminothalamicus lateralis an. Die klinische Bedeutung dieses internuklearen Tractus liegt darin, dass eine vollständige Unterbrechung der Schmerzleitung nur im Gesicht erfolgen kann, wenn auch dieser Tractus miteinbezogen wird. Im Thalamus werden die Afferenzen der Schmerzleitung auf das 3. Neuron umgeschaltet. Die Erregung erreicht dann den somatosensorischen Cortex des Parietallappens („Körperfühlsphäre“), den präfrontalen Cortex des Frontallappens und den Gyrus cinguli, der dem limbischen System angehört [8].

Wie werden die eintreffenden Informationen zum Schmerzgeschehen weiterverarbeitet, und wie und wann werden sie uns bewusst?

Aus allen Körperregionen treffen neuronale Informationsflüsse in den Cortex-Arealen ein. Dabei handelt es sich um Signale der Reizverarbeitung von Sinnesorganen und zahlreichen Rezeptoren, die beispielsweise die Funktion der Organe überwachen. Dieser Informationsfluss muss ausgewertet, nach Wichtigkeit bewertet und an Zentren weitergeleitet werden, die die einzelnen Körperfunktionen sicherstellen. Ein Teil dieser einlaufenden Informationen wird bewusst erfahren. Warum einige dieser Informationsflüsse uns bewusst werden, andere nicht und wie diese Vorgänge im neuronalen Netzwerk unseres Gehirns ablaufen, ist derzeit ungeklärt; es existieren dazu aber verschiedene Theorien [14, 31].

Die Dendriten und der Zellkörper eines Neurons stehen über Synapsen (chemisch) und gap junctions (elektrisch) in einem engen Informationsaustausch mit ihren Nachbarneuronen [5, 28]. Innerhalb von funktionell zusammengehörigen Dendriten und Zellkörpern bauen diese neuronalen Elemente ein gemeinsames Membranpotenzial auf. Erreicht dieses „gemeinsame“ Membranpotenzial einen Schwellenwert, wird die Erregung an die nächste Synapse weitergeleitet. Die Summation von benachbarten Membranpotenzialen lässt spezifische lokale Feldpotenziale entstehen, die über das EEG abgeleitet werden können.

Bereits bei Einzellern beobachten wir koordinierte Funktionen wie Fortbewegung, Fortpflanzung oder Nahrungsaufnahme. Diese Leistungen erbringt der Einzeller, ohne über ein mittels Synapsen oder gap junctions verbundenes Nervensystem zu verfügen. Die Funktionen des Einzellers werden über Strukturen des Zytoskeletts seiner Zelle erbracht. Zu diesen Strukturen zählen sog. Mikrotubuli, die netzwerkartige Strukturen bilden. In Neuronen wurden Mikrotubuli bislang als Elemente der mechanischen Stabilisierung von Dendriten und Soma angesehen. Mittlerweile werden den Mikrotubuli elementare

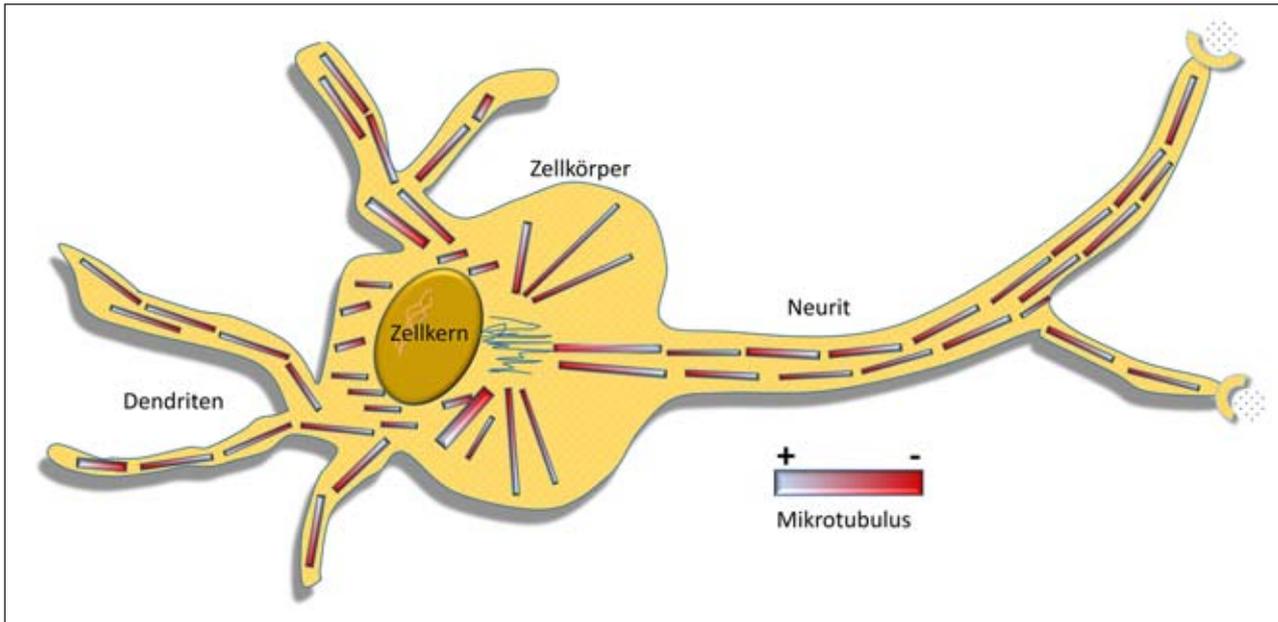


Abbildung 9 Schematische Darstellung eines Neurons mit Neurit, Zelle mit Zellkern und Dendriten. Innerhalb des Neurons finden sich polare Mikrotubuli, die im Neurit alle die gleiche polare Ausrichtung haben, während in den Dendriten auch gegenläufige Polaritäten der Mikrotubuli vorliegen.

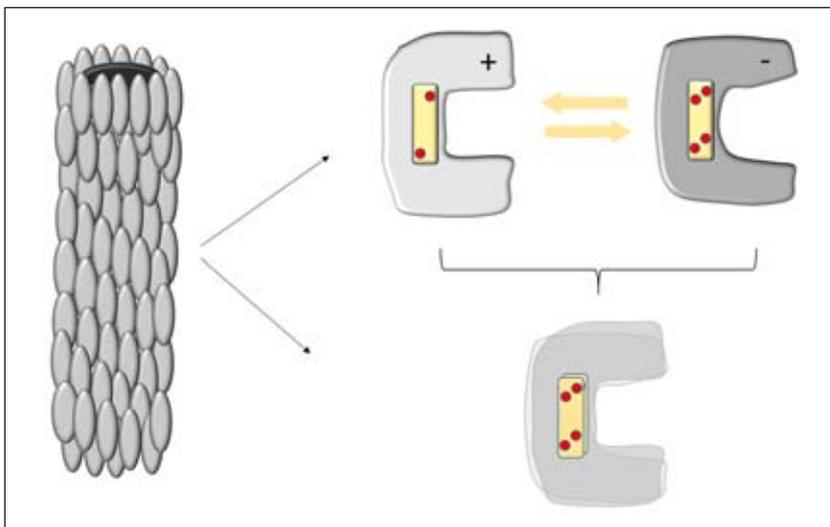


Abbildung 10 Mikrotubulus. Mikrotubuli sind kleine Hohlzylinder mit ca. 25 nm Durchmesser und variabler Länge. Sie bestehen aus dimeren Tubulinproteinen, die eine hexagonale Gitterstruktur einnehmen. Jedes Tubulinmolekül kann in zwei Konformationen (+ Form; - Form) auftreten und in eine Quanten-Superposition übergehen (s. Text).

Funktionen in der Informationsausbreitung, -verarbeitung und -speicherung zugesprochen [1, 21]. Mikrotubuli bestehen aus zylinderförmig angeordneten Polymeren und haben einen Durchmesser von 25 nm (Abb. 9, Abb. 10). Sie setzen sich aus 13 Ketten von Protofilamenten zusammen. Jede Kette fügt sich aus bogenförmig angeordneten Proteinen (Tubulin) zusammen. Tubulin existiert bei Ver-

tebraten im Verhältnis 1:1 in einer α - und einer β -Form. Dieser Unterschied führt dazu, dass Mikrotubuli einen polaren Charakter haben. β -Tubulin repräsentiert die sog. Plus-Form, an die sich weitere Untereinheiten anlagern können, während das α -Tubulin als Negativ-Form bezeichnet wird. Die Polarität der Mikrotubuli liegt aber nicht nur an deren Enden vor; sie ist auch an verschiedenen Positio-

nen im Polymer existent. Diese strukturelle Polarität dient molekularen Motorproteinen, sich an der Oberfläche der Mikrotubuli entlang zu bewegen. Diese Motorproteine nutzen dazu die Energie, die von ATP bereitgestellt wird. Motorproteine können verschiedene Stoffe transportieren. Die spezifische Polarität der Mikrotubuli bestimmt den Transportweg, so dass Informationen „gezielt“ weitergegeben werden. In den Axonen sind die Mikrotubuli so ausgerichtet, dass die Plus-Enden vom Soma wegzeigen, während in den Dendriten keine polare Ausrichtung der Tubuli vorliegt (Abb. 9, Abb. 10). In wachsenden Neuronen dienen die Zentrosome des Somas als Leitstrukturen zur Anordnung der Mikrotubuli. Wir unterscheiden lange Mikrotubuli, die vom Soma ausgehend dem Axon oder den Dendriten ihre Struktur geben und als stabil gelten, von kurzen Mikrotubuli mit teilweise frei austauschbaren instabilen Enden. Diese Tubuli dienen wahrscheinlich als „Keimzellen“ der Entwicklung von Dendriten und Axonen und spielen eine Rolle als Informationsträger.

Proteine steuern innere Zellfunktionen, indem sie ihre Struktur und Konformität ändern. Sie falten oder entfalten sich beispielsweise in spezifische Formen. Diese Veränderungen

basieren auf van der Waals Kräften, die auf Elemente des Proteins einwirken. Nach der These von Hameroff und Penrose [13, 14] liegen den Dipol-Änderungen und Formveränderungen der Proteine durch van der Waals Kräfte quantenmechanisch beschreibbare Prozesse zugrunde. Quantenmechanik beschreibt Bewegungsgesetze von subatomaren Teilchen in der Mikrowelt ($< 10^{-8}$ m).

Zu den Objekten, in denen Proteine verschiedene Polaritäten aufgrund der Van-der-Waals-Kräfte einnehmen, zählen die bereits beschriebenen Mikrotubuli. Es ist vorstellbar, dass die Tubuli je nach Verteilung der Polarität in einem Tubulus Information ähnlich den „bits“ mit der Besetzung „0“ oder „1“ in einem Computer speichern (Abb. 10). Aufgrund der von Hameroff und Penrose [14] vermuteten quantenmechanischen Verarbeitung würden wir von „qubits“ sprechen, und die Bearbeitung der Datenfülle im Gehirn würde wie bei einem Quantencomputer erfolgen. Basis der Verarbeitung der Impulse aus den Rezeptoren der Körperperi-

pherie wären neben den Synapsen und gap junctions der Nervenzellen auch die Neurotubuli innerhalb eines Nervs in Axon und den Dendriten im Gehirn.

Wie werden uns aber die verarbeiteten neuronalen Impulse bewusst? Wenn die neuronalen Impulse quantenmechanisch verarbeitet werden, gelten in der Mikrowelt Bedingungen einer anderen Raumzeit als derjenigen, die wir permanent erfahren. Daher kann die Verarbeitung der eingehenden Informationen viel schneller und viel umfangreicher erfolgen, als wir es normalerweise wahrnehmen. Dabei spielt es offensichtlich auch eine Rolle, dass in der Mikrowelt „Wellen“ und nicht mehr „Teilchen“ „korespondieren“. Nach der These von Hameroff und Penrose [14] entstehen zunächst in anderen Raumzeiten in der neuronalen Mikrowelt unzählige leicht verschiedene Repräsentationen (Wellenformen) unserer Umwelt/Körperwelt. In einer dieser „Repräsentationen“ bleiben die Wellen längere Zeit stehen (Abb. 11). Es kommt, wie Hameroff und Penrose [14] ver-

muten, zu einer „orchestrated objective reduction“ (Orch OR). Das bedeutet, die Superposition der Wellen tritt quasi in unsere (gewohnte) Raumzeit ein. Das Ereignis wird uns dadurch bewusst, und wir können uns später daran erinnern und es beschreiben. So faszinierend die These von Hameroff und Penrose [14] auch ist, wir müssen uns darüber im Klaren sein, dass es nur eine These ist, die kontrovers diskutiert wird [35].

Deszendierende Bahnen: Modulation, Kontrolle und Hemmung von Schmerzimpulsen

Eine Modulation und Abschwächung der Schmerzempfindung erfolgt teilweise schon in der Peripherie durch die Wechselwirkungen zwischen Nozizeptoren, Neuronen, Gliazellen und nichtneuronalen Zellen, durch die in der Gate-control-Theorie beschriebenen Mechanismen und über übergeordnete Zentren im Hirnstamm und Cortex. Eine wichtige Schaltstelle ist dabei der Thalamus. Die aufsteigenden Schmerzreize, die den Thalamus erreichen, werden dort verarbeitet

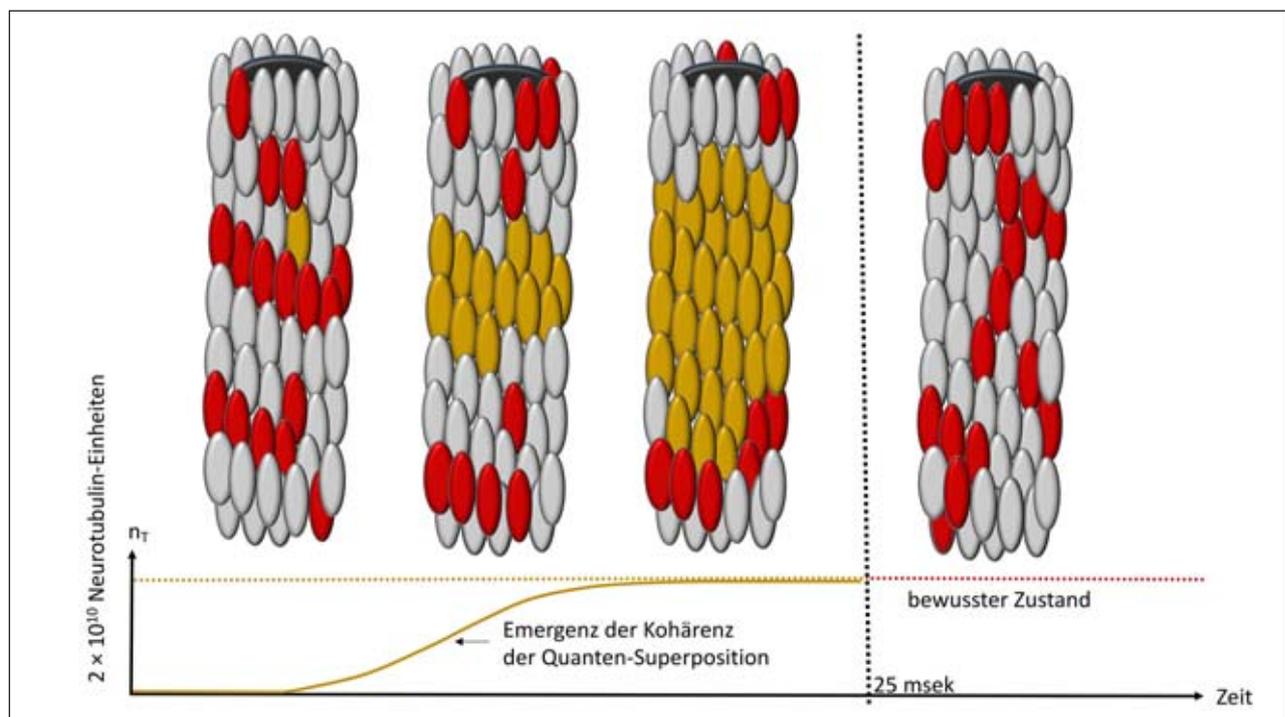


Abbildung 11 Übergang vom präbewussten in den bewussten Zustand. Dargestellt ist ein sog. orchestrierter Objekt-Reduktionsprozess (orchestrated objective reduction) nach Hameroff und Penrose [14]. Die eingehenden Nervenimpulse aus der Peripherie erfahren in den zentralen Bereichen des Kortex eine komplexe Verarbeitung. In Rahmen der Verarbeitung erfolgen in den Mikrotubuli, die mit + oder – qubits (grau/rot) belegt werden können, in einigen Bereichen Quanten-Superpositionszustände, die eine Zeit lang Bestand haben können. Erreichen derartige Superpositionszustände einen Schwellenwert, wird uns ein gewisser „Aufbereitungszustand“ des Informationsflusses bewusst. Berechnungen von Hameroff legen die Vermutung nahe, dass ein solches Ereignis mindestens 25 msek anhalten muss und dass ca. 2×10^{10} Mikrotubuli beteiligt sein müssen.

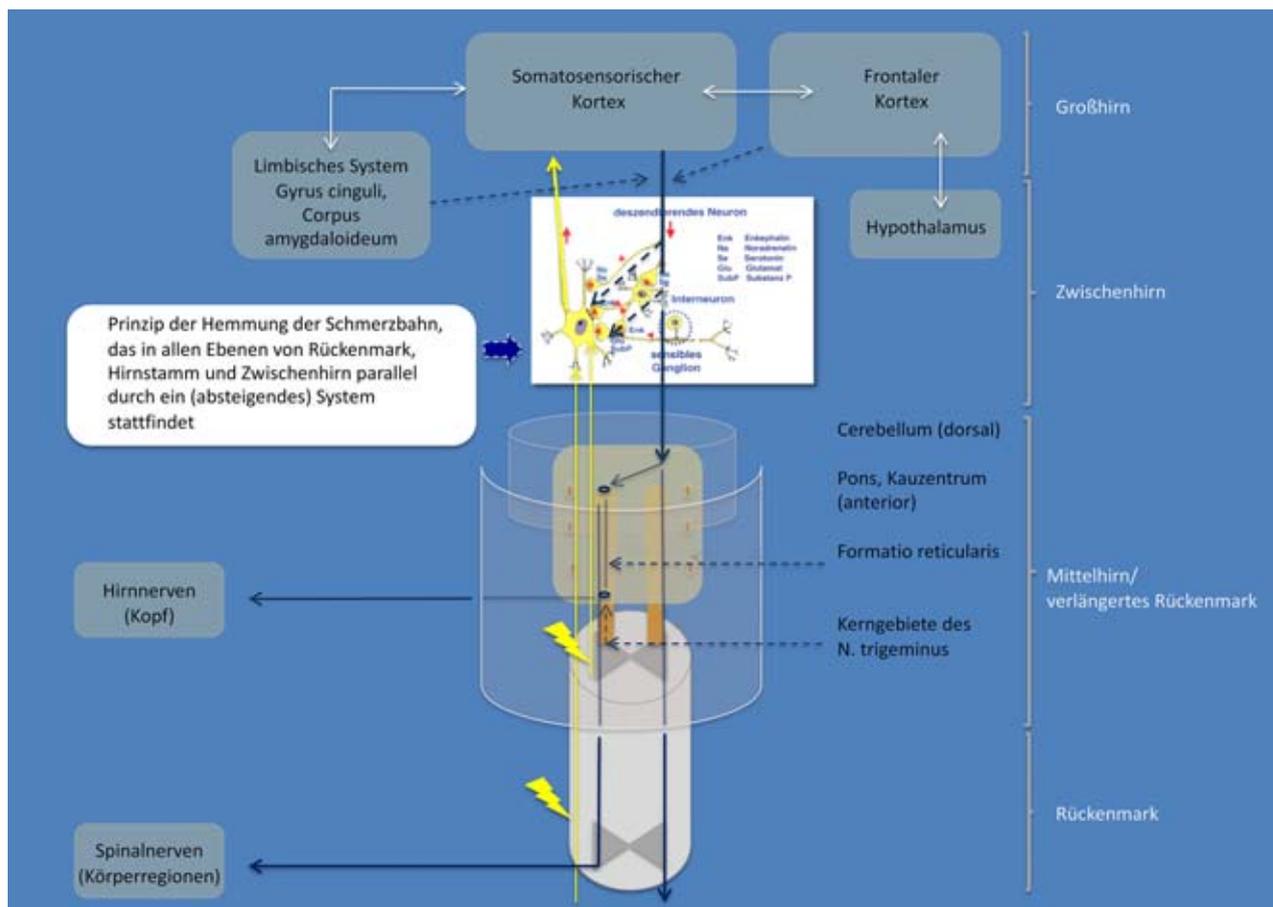


Abbildung 12 Schematische Darstellung des deszendierenden Schmerzhemmsystems. Inset: der Einfluss von endogenen Opioiden und Transmittern auf Strangzellen und auf Interneurone (gestrichelte Linien)

und nach der Umschaltung auf das 3. Neuron in Kerngebiete der „Körperfühlsphäre“ geleitet. In diesen Kerngebieten werden sie mit weiteren eingehenden Impulsen abgeglichen, die u. a. aus dem limbischen System sowie aus den Sinnesorganen stammen. Diese Neurone und neuronalen Verschaltungen koordinieren unter physiologischen Bedingungen eine kognitive oder auch nicht kognitive, bedarfsgerecht gesteuerte Inhibition des nozizeptiven Systems (Abb. 12).

Frontaler Cortex, somatosensorischer Cortex, limbisches System (u.a. Corpus amygdaloideum) sowie Hypothalamus aktivieren dazu Zentren im Hirnstamm. Zu dieser mesenzephalen Ebene des deszendierenden Systems zählt das zentrale Höhlengrau mit zwei direkt benachbarten Kernen, dem Nucleus raphe dorsalis und dem Nucleus cuneiformis sowie der Formatio reticularis. Von der mesenzephalen Ebene verbreiten sich Impulse in die rhombenzephalen Kerngebiete

wie den Nucleus raphe magnus und seine benachbarten Strukturen. Von dort aus projizieren sich schmerzlin- dernde Impulse auf die spinalen Tri- geminuskern und in das Hinterhorn des Rückenmarks. Auf jeder der oben beschriebenen Ebenen erfolgt die Ausschüttung von Transmittern (bei- spielsweise: Enkephalin, Noradrena- lin, Serotonin, Glutamat, Substanz-P) zur Blockierung und Modulation der Erregbarkeit von Nervenfasern. Die aus der rhombenzephalen Ebene stammenden Projektionen haben syn- aptischen Kontakt zu den Bahnen der Strangzellen und können diese inhibieren.

Bei der Aktivierung des deszendie- renden endogen schmerzhemmenden Systems werden endogene Opi- oide bzw. körpereigene Peptide mit morphinähnlicher Wirkung freige- setzt. Alle körpereigenen opiatähn- lich wirkenden Peptide basieren auf drei Vorstufen: Pro-Opiomelanocor- tin (POMC) bildet die Vorstufe von

β -Endorphin und ACTH. Es wird in Zellen des Hypothalamus gebildet. Pro-Enkephalin ist die Vorstufe meh- rerer opiatähnlich wirkender Peptide, und aus Pro-Dynorphin entstehen drei Peptide, darunter Dynorphin A und Dynorphin B. In allen Bereichen des Zentralnervensystems von der Großhirnrinde bis zum Rückenmark lassen sich opiatähnlich wirkende Peptide nachweisen [18]. In Regio- nen, in denen sich wichtige Schalt- stellen des nozizeptiven Systems be- finden, ist die Konzentration der Pep- tide und der Opiatrezeptoren beson- ders hoch. Diese Tatsache finden wir in der Substantia gelatinosa, den Ra- phe-Kernen der Medulla oblongata, dem periaquäduktalen Grau und in medialen Thalamuskernen vor.

Therapeutische Aktivierung der Schmerzreduktion

Therapie mit Medikamenten. Die klassische Therapie von Schmerz- zuständen setzt überwiegend auf den

Einsatz von Medikamenten. Dazu zählen Lokalanästhetika, Opiate und nichtsteroidale, antiinflammatorische Arzneimittel [34]. Im „off-label use“ etablierten sich noch trizyklische Antidepressiva, beispielsweise Amitriptylin, die in niedriger Dosierung auch schmerzlindernde Wirkung haben. Derzeit greift die medikamentöse Schmerztherapie an folgenden Stellen der Schmerzleitung an:

1. Direkt durch Lokalanästhesie: Blockade von Natriumkanälen in der Zellmembran, sodass ein Aktionspotenzial zur Weiterleitung des Schmerzimpulses unterbleibt.
2. Rückgekoppelt über die Aktivierung der Opiat-Rezeptoren des deszendierenden Systems: Aktivierung der Opiat-Rezeptoren auf verschiedenen Ebenen des ZNS durch körpereigene opiatähnliche Peptide.
3. Indirekt durch nichtsteroidale, antiinflammatorisch wirkende Analgetika: Reduktion der Ausschüttung inflammatorischer Substanzen wie Prostaglandin, Substanz-P, calcitonin-gene-related peptid, Bra-

dykinin, Histamin, Serotonin (5-Hydroxytryptamin, 5-HT).

Es ist bemerkenswert, dass der größte Teil der verordneten Analgetika eine indirekte und teilweise unspezifische Wirkungsweise auf die Schmerzleitung hat (Abb. 3). Wünschenswert wäre es, darüber hinaus auch mehr das deszendierende System in die Schmerzbekämpfung einzubeziehen. Dazu gibt es auch Ansätze für die Zahnmedizin. Diese lägen beispielsweise in der Nutzung von physiotherapeutischen Maßnahmen [27, 30, 40], von physikalischen Maßnahmen, der Ohr-Akupunktur [38, 41] und der transkutanen elektrischen Nervenstimulation (TENS) [32].

Physiotherapeutische Maßnahmen. Sowohl bei arthrogenen Erkrankungen wie bei Erkrankungen der Weichgewebe (Muskeln, Sehnen, Faszien) lindern physiotherapeutische Konzepte die Beschwerden unserer Patienten. Es ist seit mehr als 40 Jahren bekannt [3], dass Bewegung eine schmerzreduzierende Wirkung entfalten kann. Dies betrifft akute Schmerzen, beispielsweise durch Anhebung

der Schmerzschwelle, aber auch chronische Schmerzzustände [40]. Als Kombination von Übungsprogrammen, Weichteildehnung und physikalischen Maßnahmen wie Kälte- oder Wärmeapplikation stellen die Maßnahmen der Physiotherapie eine breite Palette von Möglichkeiten zur Verfügung [2] (Abb. 13).

Ohr-Akupunktur. Während in China Akupunktur und Ohr-Akupunktur schon seit Jahrhunderten angewendet werden, wurde speziell die Ohr-Akupunktur in Europa erst durch die Arbeiten des französischen Arztes Paul Nogier [29] bekannt und verbreitet. Nogier entwickelte die These, dass die Topografie der Ohrmuschel die Topografie eines auf dem Kopf stehenden Embryos widerspiegelt (Abb. 14), sodass beispielsweise die Anthelix der Ohrmuschel die Wirbelsäule repräsentiert und im Cavum conchae die inneren Organe halbkreisförmig um das Crus helicis angeordnet sind. Die Ohr-Akupunktur bietet sich für den Zahnmediziner an, da die Ohrmuschel gut zugänglich ist. Das Er-

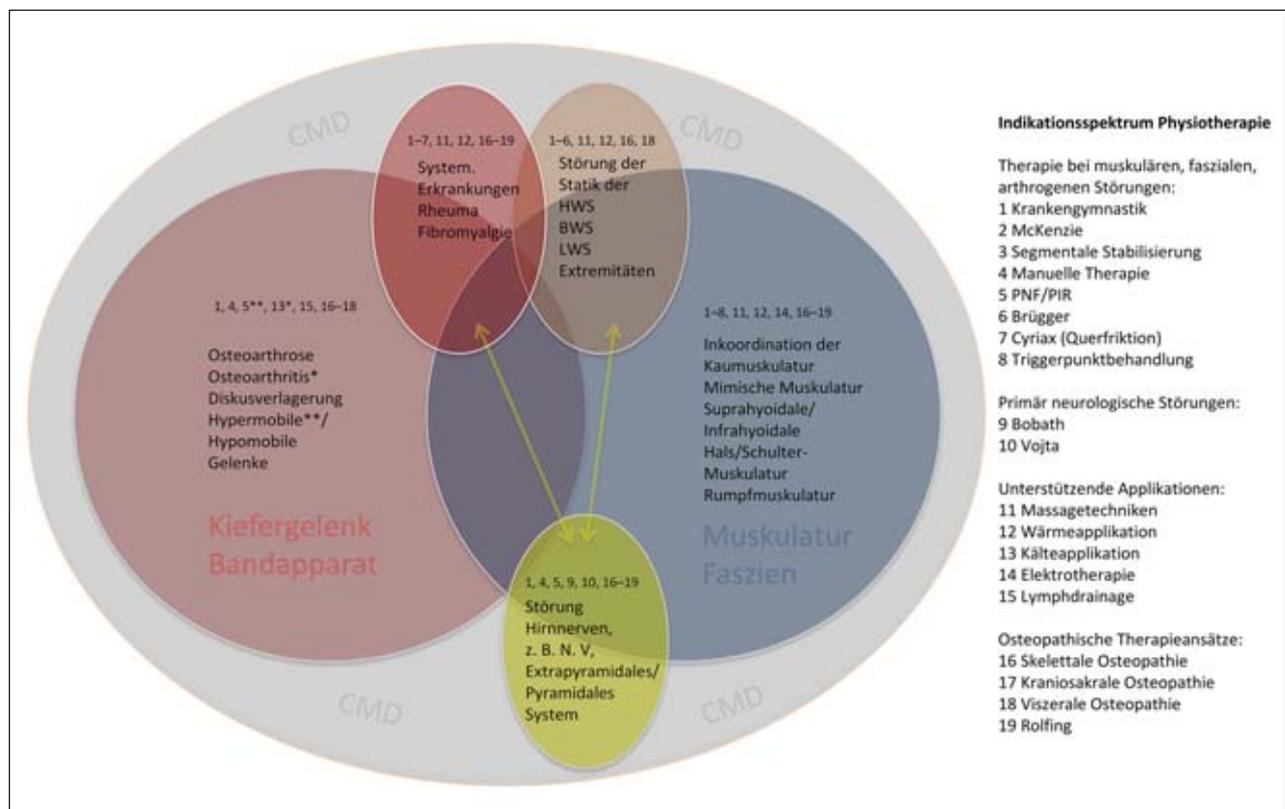


Abbildung 13 Übersicht über die zahlreichen Möglichkeiten der Beeinflussung von Schmerzzuständen bei kranio-mandibulären Dysfunktionen durch physiotherapeutische Maßnahmen. Mobilisationen mit geringer Bewegungsamplitude regen Mechanorezeptoren an und hemmen über das Gate-control-System die Schmerzleitung (s. dazu auch Abb. 3).

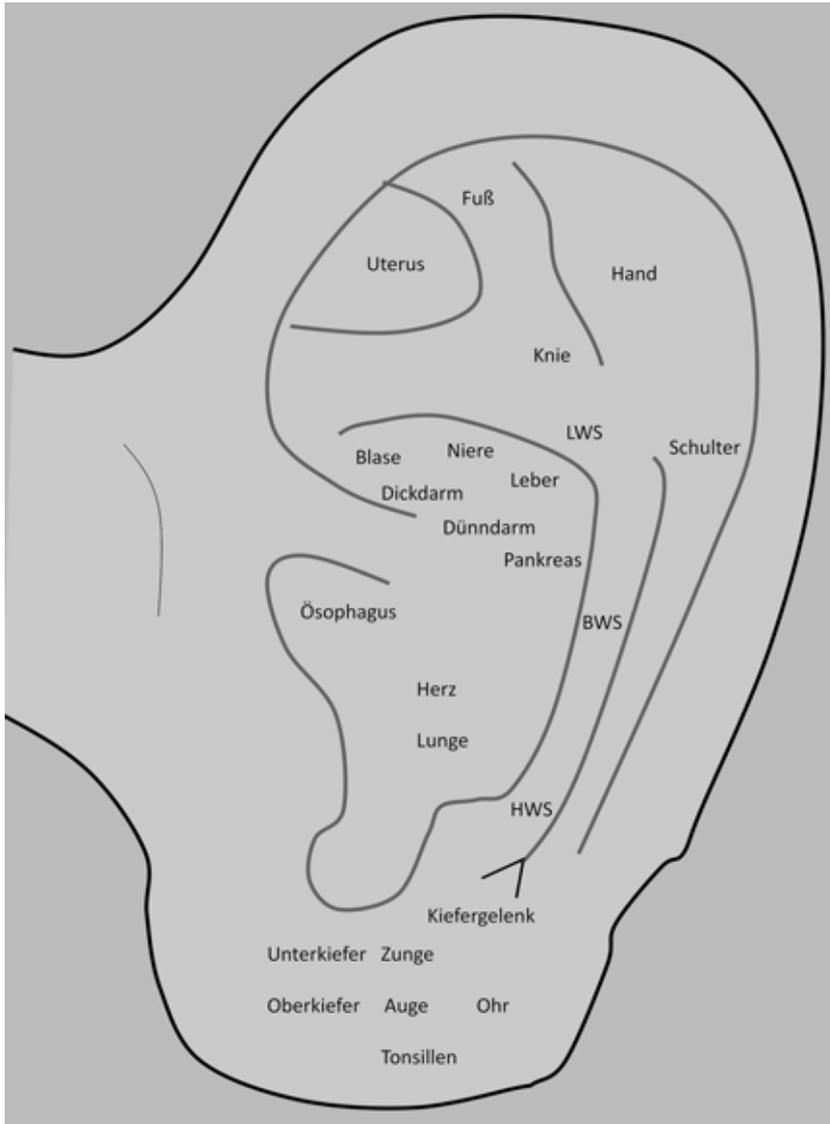


Abb. 1, 3–14, Tab. 1: M. Behr, J. Fanghänel

Abbildung 14 Repräsentation der Körperareale auf einer Ohrkarte für Ohr-Akupunktur nach Nogier [29]. Für die Zahnmedizin sind Akupunkturpunkte im Bereich der LWS, BWS, HWS, des Kiefergelenks sowie der Kieferregionen des Ober- wie Unterkiefers von therapeutischer Bedeutung.

lernen der Akupunkturpunkte folgt bekannten anatomischen Schemata und orientiert sich nicht an den der chinesischen Philosophie folgenden Akupunkturpunkten auf (abstrakten) Meridianen, deren Organzugehörigkeit für uns ungewohnt erscheint. Anhand von Vorschlägen zur Punkteauswahl bei bestimmten, der westlichen Medizin bekannten Krankheitsbildern, beispielsweise Osteoarthritis, und mithilfe von Punktsuchgeräten können auch Anfänger nach kurzer Zeit die Ohr-Akupunktur praktisch anwenden [38]. Auch wenn die Zahl der klinischen Studien nicht sehr groß ist, bietet

die Ohr-Akupunktur doch eine nebenwirkungsfreie und ernstzunehmende Therapieoption zur Schmerzbekämpfung [26].

TENS. Die Wirkungsweise der transkutanen elektrischen Nervenstimulation ist noch nicht abschließend geklärt. Wir gehen davon aus, dass die („konventionelle“) Applikation mit hohen Frequenzen von 50–100 Hz bei niedriger Intensität Schmerzreduktionsmechanismen aktiviert, wie sie durch die Gate-control-Theorie beschrieben werden, also eine Hemmung der C-Fasern, während die („akupunkturähnliche“) Anwendung mit niedriger Frequenz

von 2–4 Hz bei hoher Intensität eher endogene opiatähnliche Stoffe des deszendierenden Systems aktiviert und zur Schmerzlinderung beiträgt [32].

Statement

Schmerzlinderung und Schmerzausschaltung sind und bleiben ein zentrales Anliegen der Tätigkeit des Zahnmediziners in der täglichen Praxis. Neben den klassischen Therapieansätzen mittels Lokalanästhesie und Medikamenten werden in der Zahnmedizin die Möglichkeiten von Physiotherapie, transkutaner Nervenstimulation (TENS) oder Akupunktur zu wenig genutzt. Entscheidend ist es zu verstehen, dass der Schmerz bereits am Ort der Schädigung und auf dem Weg seiner Weiterleitung zu den zentralen Hirnarealen zahlreichen Einflüssen und Modifikationen unterworfen wird. Nichtneuronale Zellen und neuronale Zellen wie die Gruppe der Gliazellen haben einen großen Einfluss auf die Verstärkung, aber auch Abschwächung eines Schmerzreizes. Unser Wissen über die zahlreichen Mediatorstoffe, die die Funktionen der Gliazellen in der Peripherie wie im zentralen Nervensystem untereinander steuern, und über die von Gliazellen sezernierten Substanzen, die die Funktion der Synapsen beeinflussen, wird von Jahr zu Jahr größer. Dabei zeigt sich, dass gewisse Substanzen wie die Familie der MAP-Kinasen (mitogen-activated protein, s.o.) offensichtlich eine besondere Rolle bei der Entstehung von chronischen Schmerzen haben. Da bieten sich für die Zukunft mögliche therapeutische Optionen an. Die Zahnmediziner sind gut beraten, sich von dieser rasanten Entwicklung in der Medizin nicht abhängen zu lassen.

Interessenkonflikt

Die Autorinnen und Autoren erklären, dass kein Interessenkonflikt im Sinne der Richtlinien des International Committee of Medical Journal Editors besteht.

Michael Behr, Jochen Fanghänel,
Charlotte Eysholdt, Woochehol Sim,
Christina Huber

Literatur

1. Baas PW, Rao AN, Matamoros AJ, Leo L: Stability properties of neuronal microtubules. *Cytoskeleton (Hoboken)* 2016; 73: 442–460
2. Behr K, van de Loo J, Behr M: Welche physiotherapeutischen Maßnahmen helfen bei kraniomandibulären Dysfunktionen? In: Behr M, Fanghänel J (Hrsg): *Kraniomandibuläre Dysfunktionen. Antworten aus Fragen aus der Praxis*. Thieme, Stuttgart, New York 2020, 237–261
3. Black J, Cheshier GB, Starmer GA, Egger G: The painlessness of the long distance runner. *Med J Aust* 1979; 1: 522–523
4. Chiu IM, Heesters BA, Ghasemlou N et al.: Bacteria activate sensory neurons that modulate pain and inflammation. *Nature* 2013; 501: 52–57
5. Choquet D, Triller A: The dynamic synapse. *Neuron* 2013; 80: 691–703
6. Coull JAM, Beggs S, Boudreau D et al.: BDNF from microglia causes the shift in neuronal anion gradient underlying neuropathic pain. *Nature* 2005; 438: 1017–1021
7. Dydyk AM, Munakomi S: *StatPearls. Thalamic Pain Syndrome*, Treasure Island (FL) 2020
8. Fanghänel J, Behr M: Wie entsteht der Schmerz im kraniomandibulären System? In: Behr M, Fanghänel J (Hrsg): *Kraniomandibuläre Dysfunktionen. Ein Leitfa-den für die Praxis*. Thieme, Stuttgart, New York 2020, 98–105
9. Ferreira SH, Lorenzetti BB, Bristow AF, Poole S: Interleukin – 1 beta as a potent hyperalgesic agent antagonized by a tripeptide analogue. *Nature* 1988; 334: 698–700
10. Fifi AC, Holton KF: Food in chronic pain. Friend or foe? *Nutrients* 2020; 12
11. Fritsch H: *Programmierte Therapie am Bewegungsapparat*. Springer, Heidelberg 1999
12. Frost A: Diclofenac versus lidocaine as injection therapy in myofascial pain. *Scand J Rheumatol* 1986; 15: 153–156
13. Hameroff S: Consciousness, the brain, and spacetime geometry. *Ann N Y Acad Sci* 2001; 929: 74–104
14. Hameroff S, Penrose R: Consciousness in the universe. A review of the ‚Orch OR‘ theory. *Phys Life Rev* 2014; 11: 39–78
15. Ji R-R, Berta T, Nedergaard M: Glia and pain. Is chronic pain a gliopathy? *Pain* 2013; 154 Suppl 1: S10–S28
16. Ji R-R, Chamesian A, Zhang Y-Q: Pain regulation by non-neuronal cells and inflammation. *Science* 2016; 354: 572–577
17. Ji R-R, Gereau RW, Malcangio M, Strichartz GR: MAP kinase and pain. *Brain Res Rev* 2009; 60: 135–148
18. Jurna I: *Analgetika. Schmerz-bekämpfung*. In: Forth W, Henschler D, Rummel W (Hrsg): *Allgemeine und Spezielle Pharmakologie*. BI Wissenschaftsverlag, Mannheim, Wien, Zürich 1987, 523–546
19. Katz B: Die Funktionsmechanismen der Synapse. In: Ditfurth H v. (Hrsg): *Mannheimer Forum 79/80 Ein Panorama der Naturwissenschaften*. Boehringer Mannheim, Mannheim 1980
20. Kimelberg HK, Nedergaard M: Functions of astrocytes and their potential as therapeutic targets. *Neurotherapeutics* 2010; 7: 338–353
21. Li T, Tang H, Zhu J, Zhang JH: The finer scale of consciousness. *Quantum theory. Ann Transl Med* 2019; 7: 585
22. Lippert H: *Lehrbuch Anatomie*. Urban & Fischer, München, Jena 2000
23. Loeser JD, Melzack R: Pain. An overview. *Lancet* 1999; 353: 1607–1609
24. Melzack R, Wall PD: Pain mechanisms. A new theory. *Science* 1965; 150: 971–979
25. Mense S: Morphology of Myofascial Trigger Points: What does a trigger point look like? In: Mense S, Gerwin RD (Hrsg): *Muscle pain. Diagnosis and treatment*. Springer, Berlin, Heidelberg 2010, 85–102
26. Murakami M, Fox L, Dijkers MP: Ear acupuncture for immediate pain relief – a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Pain Med* 2017; 18: 551–564
27. Musumeci G, Loreto C, Leonardi R et al.: The effects of physical activity on apoptosis and lubricin expression in articular cartilage in rats with glucocorticoid-induced osteoporosis. *J Bone Miner Metab* 2013; 31: 274–284
28. Nielsen MS, Axelsen LN, Sorgen PL, Verma V, Delmar M, Holstein-Rathlou N-H: Gap junctions. *Compr Physiol* 2012; 2: 1981–2035
29. Nogier PMF: *De l’auriculothérapie à l’auriculomédecine*. Maisonneuve, Sainte-Ruffine 1981
30. Otterness IG, Eskra JD, Bliven ML, Shay AK, Pelletier JP, Milici AJ: Exercise protects against articular cartilage degeneration in the hamster. *Arthritis Rheum* 1998; 41: 2068–2076
31. Pauen M: Bewußtsein/Selbstbewußtsein. In: Jordan S, Nimtz C (Hrsg): *Grundbegriffe der Philosophie*. Philipp Reclam, Stuttgart 2019, 62–65
32. Peng WW, Tang ZY, Zhang FR et al.: Neurobiological mechanisms of TENS–induced analgesia. *Neuroimage* 2019; 195: 396–408
33. Pinho-Ribeiro FA, Verri WA, Chiu IM: Nociceptor sensory neuron – immune interactions in pain and inflammation. *Trends Immunol* 2017; 38: 5–19
34. Rang HP: The nociceptive afferent neurone as a target for new drug types of analgesive drug. In: Bond, JR, Charlton JE, Woolf CJ (Hrsg): *Pain research and clinical management Vol. 4. Proceedings of the VI–th World Congress on Pain*. Elsevier, Amsterdam, Oxford 1991, 119–127
35. Reimers JR, McKemmish LK, McKenzie RH, Mark AE, Hush NS: The revised Penrose-Hameroff orchestrated objective-reduction proposal for human consciousness is not scientifically justified. Comment on „Consciousness in the universe: a review of the ‚Orch OR‘ theory“ by Hameroff and Penrose. *Phys Life Rev* 2014; 11: 101–3; discussion 104–12
36. Sessle BJ: Chronic orofacial pain. Models, mechanisms, and genetic and related environmental influences. *Int J Mol Sci* 2021; 22: 7112, doi: 10.3390/ijms22137112
37. Simons DG: Myofascial pain syndromes. *Arch Phys Med Rehabil* 1984; 65: 561
38. Strittmatter B: *Taschenatlas Ohrakupunktur nach Nogier/Bahr. Grundlagen – Lokalisationen – Indikationen*. Haug, Heidelberg 2016
39. Takeda M, Takahashi M, Matsumoto S: Contribution of the activation of satellite glia in sensory ganglia to pathological pain. *Neurosci Biobehav Rev* 2009; 33: 784–792
40. Vaegter HB, Jones MD: Exercise-induced hypoalgesia after acute and regular exercise. Experimental and clinical manifestations and possible mechanisms in individuals with and without pain. *Pain Rep* 2020; 5: e823
41. Wirz-Ridolfi A: The history of ear acupuncture and ear cartography. Why precise mapping of auricular points is important. *Med Acupunct* 2019; 31: 145–156



Foto: UKR

PROF. DR. MED. DENT.
MICHAEL BEHR
 Universität Regensburg
 Fakultät für Medizin
 Franz-Josef-Strauss-Allee 11
 93053 Regensburg
 michael.behr@klinik.uni-regensburg.de

GEISTLICH**Defektorientiertes Konzept**

Eine erfolgreiche Regeneration knöcherner Defekte setzt die Stabilisierung des Augmentats im Defektbereich voraus. Das defektorientierte Geistlich-Konzept verbindet die bewährten Produkte Geistlich Bio-Oss® und Geistlich Bio-Gide® mit drei verschiedenen Behandlungsmethoden: GBR mit Membranfixierung durch Titan-Pins für kleinere Defekte, SBR mit stabilisierenden Schirmschrauben für Defekte mit fehlender Knochenwand, CBR® mit dem Yxoss® 3D-Titangitter für Defekte mit vertikaler und horizontaler Ausprägung.

Geistlich Biomaterials

Schöckstraße 4, 76534 Baden-Baden, Tel.: 07223 9624-0
info@geistlich.de, www.geistlich.de

NEOSS**Mit nur 1 bis 2 Bohrschritten zu höchster Primärstabilität**

Neoss ProActive® Edge ist ein einzigartiges Implantat – eine leistungsstarke Ergänzung der Neoss-Implantatfamilie, die selbst bei weichem oder beeinträchtigtem Knochen eine hervorragende

Primärstabilität bietet. Ein revolutionäres 1- bis 2-stufiges Bohrprotokoll mit minimaler Knochenentfernung gibt sofortiges Feedback während der Platzierung. Die Bohrer sind direkt auf die Implantat- und Gewindeform abgestimmt, wodurch die Platzierung schneller, einfacher und die Behandlungszeit für Behandelnde und Patienten verkürzt wird. Wie alle Neoss-Implantate verfügt Neoss ProActive® Edge über die klinisch erprobte superhydrophile ProActive® Oberfläche und die äußerst vertrauenswürdige NeoLoc®-Verbindung. Eine prothetische Plattform für 3 Implantatarten mit 1 Schraubendreheranschluss – das ist intelligente Einfachheit!

Neoss GmbH

Im Mediapark 5b, 50670 Köln
Tel.: 0221 96 98 01 0, Fax: 0221 96 98 01 99
info@neoss.de, www.neoss.de

MEDENTIS**ICX-PREMIUM = sauber!**

Das Implantat ICX-PREMIUM von medentis ist durch die CleanImplant Foundation CIF GmbH erfolgreich zertifiziert worden. CleanImplant hat das System ausführlich getestet und erneut für exzellent befunden. Unabhängige Testverfahren durch offiziell akkreditierte Prüflaboratorien liefern die Basis für diese aussagekräftige Studie: Keine Rückstände und Verunreinigungen auf steril verpackten ICX-PREMIUM-Implantaten. Mit Prof. em. Dr. Tomas Albrektsson und Prof. Dr. Ann Wennerberg (beide Sahlgrenska Academy Göteborg) haben zwei sehr bekannte Wissenschaftler alles geprüft und das Trusted Quality Zertifikat für das ICX-PREMIUM unterzeichnet. Damit kann medentis medical erneut die qualitativ hochwertige und rückstandsfreie Fertigung von ICX-PREMIUM-Implantaten nachweisen.

**medentis medical GmbH**

Walporzheimer Str. 48–52, 53474 Bad Neuenahr/Ahrweiler
Tel.: 02641 9110-0, info@medentis.de, www.medentis.com

PERMADENTAL**TrioClear Unlimited bei reduzierten Preisen**

TrioClear™ ist eines der weltweit am schnellsten wachsenden Aligner-Systeme für Zahnärzte und Kieferorthopäden. Es ermöglicht vorhersagbar und komfortabel, Zahnbewegungen zu planen und durchzuführen. Mit TrioClear™ Unlimited rundet die Modern Dental Group das System zum



1. Juli ab. Zusätzlich zu den bereits tausendfach bewährten Aligner-Paketen „Touch-up“, „Touch-up Plus“ und „Complete“ wird den Anwenderpraxen nun noch ein unlimitedes Angebot bereitgestellt – und das bei deutlich reduzierten Preisen. Besonders komplexe Patientenfälle können binnen zwei Jahren mit einer unbegrenzten Anzahl an Aligner-Sets für beide Kiefer behandelt werden, inklusive zweier Refinements nach Therapieende. Ab sofort steht auch das neue TrioClear-Online-Portal als deutsche Version zur Verfügung unter www.permadental.de/trio-clear.

permadental GmbH

Marie-Curie-Straße 1, 46446 Emmerich
Tel.: 02822 71330, www.permadental.de

Marius Crome*, Alexander Rahman*, Robin Michael Iversen, Anne-Katrin Lührs

Synchrone vs. Asynchrone Lehre: Fragebogenbasierte Studie in der Zahnmedizin während COVID-19**

Warum Sie diesen Beitrag lesen sollten

Dieser Beitrag beschreibt am Beispiel der zahnmedizinischen Lehre zur Zeit der COVID-19-Pandemie die Vor- und Nachteile verschiedener digitaler Lernformate aus Sicht der Studierenden.

Einführung: Die im Zuge der COVID-19-Pandemie notwendige rasche Etablierung einer rein digitalen Lehre in das zahnmedizinische Curriculum stellt Studierende wie auch Lehrende vor neue Herausforderungen. Ziel dieser Arbeit war es, die Auswirkungen bezüglich der ad hoc eingeführten synchronen und asynchronen Online-Lehre auf Studierende der Zahnmedizin zu erfassen.

Methode: Die Evaluation der digitalen Lehre erfolgte via Online-Befragung mit dem Umfrageprogramm SoSci Survey. Befragt wurden Zahnmedizinstudierende der MHH im 2., 4., 6., 8. und 10. Semester (n = 204, mittleres Alter: $23,6 \pm 3,7$ Jahre, Verhältnis männlich/weiblich: 28 %/72 %). Mithilfe einer Summenwertberechnung über 21 likert-typische Items, sowie der Bewertung von Kernaspekten (Inhalt, technische Qualität, Interaktionspotential mit dem Dozenten, Klärungsmöglichkeiten von Fragen, allgemeine Orientierung auf der digitalen Plattform) nach Schulnoten wurde die Zufriedenheit der Studierenden erfasst. Die statistische Auswertung erfolgte mit der Software RStudio.

Ergebnisse: Die Auswertung der Summenwerte ergab für die Studierenden der Vorklinik (2., 4. Sem., asynchrones Lehrkonzept) im Mittel 66,9 Punkte (Median 68,5) und für die Studierenden der Klinik (6., 8., 10. Sem., synchrones Lehrkonzept) 79,4 Punkte (Median 81). Der Unterschied von 12,5 Punkten (Median 12,5) zwischen den Lehrkonzepten ist statistisch signifikant ($p < 0.001$). Auch die Benotung der Kernaspekte mittels Schulnoten zeigte statistisch signifikante Unterschiede (Inhalt, Orientierung auf digitaler Plattform).

Schlussfolgerung: Die fragebogenbasierte Umfrage bei den Studierenden der Zahnmedizin an der MHH ergab, dass die Studierenden mit der synchronen Online-Lehre zufriedener waren als mit der asynchronen. Ob aber eine grundsätzliche Überlegenheit des synchronen Lehrformats gegenüber dem asynchronen Ansatz besteht, kann mithilfe der erhobenen Daten nicht beantwortet werden.

Schlüsselwörter: COVID-19; digitale Lehre; fragebogenbasierte Studie; synchrone und asynchrone Lehrkonzepte; Zahnmedizin

Klinik für Zahnerhaltung, Parodontologie und Präventivzahnmedizin, Medizinische Hochschule Hannover: Marius Crome, Prof. Dr. Alexander Rahman, MME, Dr. Robin Michael Iversen, Prof. Dr. Anne-Katrin Lührs

* gleichberechtigte Erstautoren

**Deutsche Version der englischen Erstveröffentlichung Crome M, Rahman A, Iversen RM, Lührs AK: Synchronous vs. asynchronous education: Questionnaire-based survey in dental medicine during the COVID-19 pandemic. Dtsch Zahnärztl Z Int 2021; 3: 206–215

Zitierweise: Crome M, Rahman A, Iversen RM, Lührs AK: Synchrone vs. Asynchrone Lehre: Fragebogenbasierte Studie in der Zahnmedizin während COVID-19. Dtsch Zahnärztl Z 2022; 77: 166–176

Peer-reviewed article: eingereicht: 16.09.2020, revidierte Fassung akzeptiert: 15.01.2021

DOI.org/10.3238/dzz.2021.0028

Synchronous vs. asynchronous education: Questionnaire-based survey in dental medicine during the COVID-19 pandemic

Introduction: The rapid establishment of digital teaching in the dental curriculum, which was necessary in the progress of the COVID-19 pandemic, now poses new challenges for both students and teachers. The aim of this study was to assess the impact of the sudden introduction of synchronous and asynchronous online teaching on dental students.

Methods: The evaluation of digital teaching was conducted via online survey using the survey program SoSci Survey. Dental students at the MHH in the 2nd, 4th, 6th, 8th and 10th semesters were questioned (n = 204, mean age: 23.6 ± 3.7 years, male/female ratio: 28%/72%). By means of a sum value calculation over 21 Likert-type items, as well as the evaluation of core aspects (content, technical quality, interaction potential with the lecturer, clarification possibilities of questions, general orientation on the digital platform) according to school grades, the satisfaction of the students was recorded. The statistical evaluation was carried out with the software RStudio.

Results: The evaluation of the sum scores showed a mean of 66.6 points (median 68.5) for preclinical students (2nd, 4th semester, asynchronous teaching concept) and 79.4 points (median 81) for clinical students (6th, 8th, 10th semester, synchronous teaching concept). The difference of 12.5 points (median 12.5) between both teaching concepts is statistically significant (p < 0.001). The grading of the core aspects also showed statistically significant differences with regard to content and orientation on the digital platform.

Conclusion: The questionnaire-based survey of dental students at the MHH revealed that students were more satisfied with synchronous online teaching than with asynchronous teaching. However, whether there is a fundamental superiority of the synchronous teaching format over the asynchronous approach cannot be answered by the data collected.

Keywords: covid-19 pandemic; dentistry; digital teaching; questionnaire-based survey; synchronous and asynchronous learning

1. Einleitung

Die COVID-19-Pandemie, sowie die zu ihrer Eindämmung ergriffenen Maßnahmen zeigen weitreichende sozioökonomische Auswirkungen [34]. Neben den aktuell viel diskutierten wirtschaftlichen Einschnitten ist auch der Bildungs- und Ausbildungssektor nicht unerheblich betroffen [55]. Allgemeine Kontakt- und Besuchsverbote im Sinne des „Social Distancing“ verbieten die Durchführung „klassischer Lehrformate“ in

Form von Präsenzunterricht an Schulen und Universitäten [59]. Diese Unterrichtsform spielt aber gerade in der Ausbildung von zukünftigen Zahnärztinnen und Zahnärzten eine elementare Rolle, da ein Großteil der Ausbildung praxisnah an präklinischen Simulationseinheiten und am Patienten in den klinischen Behandlungskursen erfolgt. Dieser Ausbildungsschritt, der unter Supervision und Kontrolle des zahnärztlichen Lehrpersonals stattfindet, ist elemen-

tar zum Erwerb von manuellen Fähigkeiten. Theoretische Kenntnisse, die zur Durchführung einer zahnmedizinischen Behandlung notwendig sind, werden an der Medizinischen Hochschule Hannover durch „blended learning“ vermittelt [4]. Dieses Konzept entspricht in seiner grundsätzlichen Ausrichtung einem Hybriden aus konventionellem Präsenzunterricht und online zur Verfügung gestellten Lehrinhalten [7, 15, 38]. Durch diese Lehrkonzeption wird eine klare zeitliche Strukturierung des studentischen Alltags ermöglicht; zusätzlich wird der Studierende durch Bereitstellung digitaler Lehrinformationen zeitlich ungebunden in seinem Selbststudium umfassend unterstützt [17, 30]. Im Zuge der COVID-19-Pandemie wurden die ursprünglichen Lehrinhalte der Präsenzveranstaltungen zum Semesterbeginn am 20.04.2020 kurzfristig vollständig digitalisiert, um den Studierenden eine adäquate Distanzlehre in Ermangelung praktischer Lehrmöglichkeiten anbieten zu können. Diese Lehrmethode ist durch die Nutzung eines und oder mehrerer technischer Medien charakterisiert, um die physische Separation zwischen Dozenten und Studierenden überbrücken zu können [18, 26]. Anders als für Studierende der Humanmedizin und Studierende der Zahnmedizin in vor-klinischen Semestern sollte dieses „distance learning“ für Studierende der klinischen Semester jedoch nicht asynchron, sondern zur klaren Strukturierung des Alltags und zur Aufrechterhaltung der direkten, gleichzeitigen Interaktivität zwischen Studierenden und Dozenten weiterhin synchron erfolgen [12, 44]. Eine Übersicht über verschiedene Modalitäten der synchronen und asynchronen Lehre zeigt Abbildung 1. Es wurden bei der Planung verschiedene Anbieter von Webkonferenzsystemen mit dem Ziel verglichen, eine praktikable, anwenderfreundliche und datenschutzkonforme Software zu finden, die es ermöglicht, Online-Seminare gewinnbringend in der Lehre einzusetzen. Die Online-Seminare ermöglichen die Einhaltung des vorgesehenen Stundenplans, und durch virtuelle Präsenztools kann die Anwesenheit der Studenten dokumentiert

		Taktung	
		Synchrone Lehre	Asynchrone Lehre
Modalität	Online	Online-Seminar	Lern-Management-System
	Offline	face-to-face	ausgedruckt, versandt

Abbildung 1 Lernmodalitäten der synchronen und asynchronen Lehre im Vergleich, modifiziert nach [12].

werden, was u.a. für den Erwerb der Fachkunde im Strahlenschutz notwendig ist [60]. Darüber hinaus kann durch die Interaktionsmöglichkeiten mit dem Dozenten und den Kommilitonen trotz physischer Isolation dennoch ein Gefühl des sozialen Zusammenhalts erzeugt werden. Alle Vor- und Nachteile der synchronen und asynchronen Lehre im Überblick zeigt Tabelle 1. Die grundsätzliche Annahme, dass die Studierenden aufgrund ihres jungen Alters allgemein als technikaffine „digital natives“ klassifiziert werden können, kann aufgrund der Heterogenität innerhalb der Studierendenschaft nicht ohne Weiteres angenommen werden [5, 50]. Dennoch muss zur Kenntnis genommen werden, dass digitale Technologien subtil, pervasiv wie unsichtbar alle Lebensbereiche sukzessive erschließen und somit eine Differenzierung zwischen virtuellen und realen Räumen zunehmend nicht mehr haltbar ist [27]. Neben dem „lifelong learning“ wird auch das ubiquitäre Lernen, das sich durch die Konvergenz der Lernorte auszeichnet und unter Verwendung mobiler, digitaler Endgeräte auch als „seamless learning“ bezeichnet wird, immer wichtiger, um zeiteffizient neues Wissen erschließen zu können [10, 56]. Der alleinige Austausch von Lernorten gleichzeitig mit der fortschreitenden Digitalisierung ist selbstverständlich noch kein Innovationsträger an sich, auch sind digitale Lehrverfahren nicht zwangsläufig den konventionellen überlegen. Wenn digitale Medien allerdings unter Berücksichtigung adäquater didaktischer Methoden adjutant zu traditionell bewährten Konzepten genutzt werden, ist davon auszugehen, dass

synergistische Effekte das Potenzial haben, die Lehre nachhaltig zu verbessern [53]. Da zurzeit noch keine Erkenntnisse über die studentische Wahrnehmung der rein digitalen zahnmedizinischen Lehre zur Zeit der COVID-19-Pandemie bestehen, war es das Ziel dieser Studie, die Perspektive der Studierenden anhand eines Fragebogens zu erfassen. Die dabei aufgestellte Nullhypothese besagt, dass es keinen Unterschied zwischen den untersuchten Lehrformaten (asynchron vs. synchron) hinsichtlich der Zufriedenheit, gemessen anhand eines Summenwerts über

33 Fragebogenitems und der Bewertung von Kernaspekten anhand von Schulnoten gibt.

2. Methoden

Im Rahmen der vorliegenden Studie zur qualitativen Evaluation der asynchronen und synchronen digitalen Lehre an der Medizinischen Hochschule Hannover (MHH) zur Zeit der COVID-19-Pandemie wurden 359 Studierende der Zahnmedizin per E-Mail eingeladen, einen Online-Fragebogen auszufüllen. Der Versand erfolgte über den E-Mail-Verteiler der MHH, alle Studierenden erhielten den Fragebogen zum selben Zeitpunkt. Jede Mail enthielt neben dem Anschreiben eine individuelle Seriennummer, die eine einmalige Teilnahme ermöglichte. Die Studierenden wurden durch die dem Fragebogen vorgeschaltete Teilnehmerinformation über das Ziel und den Ablauf dieser Studie, die Freiwilligkeit sowie den Verbleib und den Umgang mit ihren Daten in Kenntnis gesetzt. Folglich kann bei Beantwortung des Fragebogens von der informierten Einwilligung ausgegangen werden. Als Umfrageinstrument wur-

		Synchrone Lehre		Asynchrone Lehre
		Synchron online (Online Seminar)	Synchron offline (face-to-face)	Asynchron online/offline
Vorteile		<ul style="list-style-type: none"> – Dozentenpräsenz (verbal) – Real-Time-Feedback – Alltagsstrukturierung – Räumliche Unabhängigkeit – Archivierbarkeit – Fragemotivation gesteigert 	<ul style="list-style-type: none"> – Dozentenpräsenz – Real-Time-Feedback – Alltagsstrukturierung – Gemeinschaftlicher Austausch – Echte „Face-to-face“-Interaktion – Geringere Drop-out-Rate 	<ul style="list-style-type: none"> – Individuelles Zeitmanagement – Beliebiger Zugriff/Flexibilität – Indirekte Interaktion möglich – Förderung des Selbststudiums – Lerndiversifizierung – „Self-paced study“ – Bedachte Kommunikation
	Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> – Physische Isolation – Drop-out-Rate erhöht – Notwendigkeit von: <ul style="list-style-type: none"> – technischem Equipment – technischem Know-how – ggf. technische Malfunktionen – Reduzierte nonverbale, extra-/paralinguistische Signale 	<ul style="list-style-type: none"> – Räumliche Limitationen – Räumliche Abhängigkeit – Anfahrtswege/Mobilitätskosten – Einmalige Erlebbarkeit – Strikte Zeitplanung – Zeitliches Fragenfenster limitiert – Stellen von Fragen nicht anonym 	<ul style="list-style-type: none"> – Keine mehrschichtige Interaktion – Antworten zeitverzögert – Zeitinvestment erhöht

Tabelle 1 Vor- und Nachteile von synchroner und asynchroner Lehre, modifiziert nach [1, 3, 11, 25, 29, 37, 39, 52, 54].

1. Welchem Geschlecht gehören Sie an?

männlich
 weiblich
 divers

2. Wie alt sind Sie?

Jahre

3. In welchem Semester befinden Sie sich aktuell?

2. Semester
 4. Semester
 6. Semester
 8. Semester
 10. Semester

4. Bitte beantworten Sie folgende Fragen.

	nein	ja
Haben Sie kleine Kinder, die Sie im Homeoffice zusätzlich betreuen müssen/ mussten? (durch z.B. pandemiebedingte Kindergärten, oder Grundschulschließungen)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Verfügen Sie über einen adäquaten Arbeitsplatz, der es Ihnen ermöglicht störungsfrei an der digitalen Lehre teilzuhaben?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Verfügen Sie über entsprechendes Equipment zur interaktiven Teilnahme an Online-Seminaren? (Headset, Mikrophon, Webcam)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

5. Bitte geben Sie an, mit welchem technischen Gerät Sie an der digitalen Lehre teilgenommen haben.
(Mehrfachnennungen sind möglich)

Smartphone (>2 Jahre alt)
 Smartphone (<2 Jahre alt)
 PC/ Tablet/ Laptop (>3 Jahre alt)
 PC/ Tablet/ Laptop (<3 Jahre alt)

6. Bitte bewerten Sie folgende Aspekte anhand von Schulnoten.

	sehr gut	gut	befriedigend	ausreichend	mangelhaft	ungenügend
Inhalt der Online-Seminare	<input type="radio"/>					
Technische Qualität der Online-Seminare	<input type="radio"/>					
Interaktion mit dem Dozenten	<input type="radio"/>					
Klärung von Fragen	<input type="radio"/>					
Orientierung auf digitaler Plattform	<input type="radio"/>					

Abbildung 2a (Beschreibende Legende siehe unter Abbildung 2b)

de dabei das MHH-intern gehostete Programm SoSci Survey (SoSci Survey GmbH, München, Version 3.2.05-i) zur Steigerung der Durchführungsobjektivität verwendet. Die Online-Befragung der Studierenden fand über einen Zeitraum von 3 Wochen (25.05.2020–15.06.2020) statt. Ein positives Votum der Ethikkommission der Medizinischen Hochschule Hannover liegt vor (Nr. 9192_BO_K_2020).

2.1 Teilnehmer und Software für Online-Seminare

An der MHH werden die Studierenden der Zahnmedizin bis zur zahnärztlichen Vorprüfung nach dem 5. Semester, mit geringfügigen Abweichungen, analog zu den Studierenden der Humanmedizin des Modellstudiengangs „Hannibal“ (Hannoveraner integrierter berufsorientierter adaptiver Lehrplan) in den naturwis-

senschaftlichen Grundlagenfächern ausgebildet. Dementsprechend wurden den beiden vorklinischen Semestern (2. u. 4.) gemäß den Vorgaben zur asynchronen Online-Lehre in der Humanmedizin konventionelle sowie vertonte Vorlesungen auf der Lehrplattform „ILIAS“ (Integriertes Lern-, Informations- und Arbeitskooperations-System) bereitgestellt. Das ILIAS bildet seit der Einführung des Modellstudiengangs Hannibal im Wintersemester 2005/2006 die technische Grundlage für E-Learning an der MHH. Im Gegensatz zum 2. und 4. Semester wurden zahnmedizinische Lehrinhalte für das 6., 8. und 10. Semester synchron unter Nutzung von Online-Seminaren vermittelt. Zur Anwendung kam zum einen für einzelne Lehrveranstaltungen die Open-Source-Videokonferenzapplikation Jitsi-meet (Emil Ivov; Version

2.10 Build 5550) die sich aber im direkten Vergleich mit „Microsoft Teams“ (Microsoft Corporation, Redmond, Washington, USA, Version 1.3.0) ab einer Gruppengröße von 20 Teilnehmern als weniger geeignet herausstellte. Folglich wurde dieses Konferenztool daher nur zur Unterweisung von Kleingruppen im Phantomkurs der Zahnerhaltungskunde eingesetzt, nicht aber als Lehrvehikel für deutlich mehr Teilnehmer in semesterinternen oder semesterübergreifenden Vorlesungen. Für alle anderen Lehrveranstaltungen innerhalb des Zentrums Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde (Phantomkurs der Zahnerhaltungskunde, Kursus der Zahnersatzkunde I, Integrierter klinischer Kurs, ZMK Krankheiten I, Klinik und Poliklinik für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten I, Kursus kieferorthopädische Behandlung II) wurde das Programm „Microsoft Teams“ (Microsoft Corporation, Redmond, Washington, USA, Version 1.3.0) genutzt, mit dem nach einem zeitlich fixierten Vorlesungsplan die Lehrveranstaltungen abgehalten wurden. Die Studierenden mussten sich dazu selbstorganisiert zu dem jeweiligen Startzeitpunkt der Lehrveranstaltung einloggen, die Anwesenheit wurde durch eine Rückmeldung in der Chatfunktion des Programms überprüft.

2.2 Fragebogen

Um die studentische Wahrnehmung und die Zufriedenheit mit der asynchronen sowie der synchronen Lehre zur Zeit der COVID-19-Pandemie zu erfassen, wurde initial ein vollständiger Fragebogen (vgl. Abb. 2) mit 33 Items entwickelt, da bereits existierende Instrumente zur Bewertung von Lernumgebungen, wie der Dundee Ready Education Environment Measure (DREEM), das Dental Student Learning Environment Survey oder das Dental Clinical Learning Environment Instrument (DECLEI) nicht ausreichend zufriedenstellend waren [21, 28, 43]. Für die Itementwicklung waren somit zusätzlich zur Literaturrecherche Rückmeldungen der Studierenden sowie die Meinungen zweier Experten aus dem zahnmedizinischen Lehrkörper der MHH relevant. Neben geschlossenen Fra-

7. Bitte nehmen Sie Stellung zu folgenden Aussagen.

	stimme gar nicht zu	stimme eher nicht zu	unent- schieden	stimme eher zu	stimme voll zu	kann ich nicht beurteilen
Der Zugang zu den Online-Seminaren war problemlos möglich.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Das verwendete Programm war übersichtlich und leicht zu bedienen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Das verwendete Programm ermöglichte eine uneingeschränkte Interaktionsmöglichkeit mit dem Dozenten.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Das Online-Seminar war akustisch vollwertig zu verstehen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Die Bildqualität ermöglichte es stets, jedes Wort auf den digitalen Vorlesungsfolien lesen zu können.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Aus der heimischen Anonymität heraus, fiel es leichter Fragen zu stellen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Losgelöst von klinischen Kursen/ Seminaren/ Praktika, ist das Konzentrationslevel in den Online-Seminaren höher.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Die freie Ortswahl, das Wegfallen praktischer Kurse und das Ausbleiben von Laborarbeiten/ Seminaren/ Praktika steigert die Motivation und die Möglichkeit an Online-Seminaren teilzunehmen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich war weniger abgelenkt.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Das Erstellen von strukturierten Mitschriften ist im Online-Seminar einfacher als bei einer Präsenzveranstaltung.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Durch zunehmende Möglichkeiten der Interaktivität, bin ich motiviert mich auf die Online-Seminare vorzubereiten.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Die Möglichkeit von Zuhause aus arbeiten zu können, verbessert die „Work-Life-Balance“ im Vergleich zur klassischen Präsenzlehre.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Die aktuelle Lage ermöglicht ein intensiveres Selbststudium.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Die umfassende und frühzeitige Bereitstellung von Vorlesungsfolien auf der Lehrplattform ILIAS war sehr vorteilhaft.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Durch die digitale Lehre fühle ich mich bezüglich der Kursinhalte besser vorbereitet.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich lerne lieber im Team und habe nun Angst, den Anschluss zu verpassen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Im Rahmen der digitalen Lehre habe ich meine Fähigkeit zur Selbstorganisation verbessert, um zur richtigen Zeit am richtigen „Ort“ zu sein.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Durch digitale Lehre fühle ich mich isoliert.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Die Online-Seminare sind gut strukturiert und klar verständlich.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Online-Seminare lassen Diskussionen zu.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich habe alle auf ILIAS zur Verfügung gestellten Vorlesungsfolien intensiv genutzt.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Abbildungen 2a/2b Fragebogen mit 33 Items mit geschlossenen Fragen zur Erhebung von Basisinformationen (Alter, Geschlecht, aktuelles Semester, technische Ausstattung des Heimarbeitsplatzes, Störfaktoren) und 21 likert-typischen Fragen zur Evaluierung der Online-Lehre, 5-Punkte-Skala („kann ich nicht beurteilen“ = 1, „stimme gar nicht zu“ = 2, „stimme eher nicht zu“ = 3, „unentschieden“ = 4, „stimme eher zu“ = 5, „stimme voll zu“ = 6). Die Antwortmöglichkeiten auf die Aussagen 16 und 18 mussten umcodiert werden („stimme gar nicht zu“ = 6, „stimme eher nicht zu“ = 5, „unentschieden“ = 4, „stimme eher zu“ = 3, „stimme voll zu“ = 2).

gen zur Erhebung von Basisinformationen (Alter, Geschlecht, aktuelles Semester, technische Ausstattung des Heimarbeitsplatzes, Störfaktoren), konnten 21 likert-typische Fragen zur vielschichtigen Evaluierung der Online-Lehre mittels einer 5-Punkte-Skala („stimme gar nicht zu“ = 2, „stim-

me eher nicht zu“ = 3, „unentschieden“ = 4, „stimme eher zu“ = 5, „stimme voll zu“ = 6) und einer weiteren „Don't know“-Kategorie („kann ich nicht beurteilen“ = 1) beantwortet werden. Basierend auf der Codierung dieser ordinal skalierten Fragen wurde ein Summenwert gebildet, der

als Globalparameter die Zufriedenheit der Studierenden mit der erfolgten Online-Lehre anzeigt. Von den 21 Fragenitems mussten dabei zwei zu bewertende Aussagen (16. Ich lerne lieber im Team und habe nun Angst, den Anschluss zu verpassen; 18. Durch die digitale Lehre fühle ich mich isoliert) aufgrund ihrer negativen Konnotation umcodiert werden („stimme gar nicht zu“ = 6, „stimme eher nicht zu“ = 5, „unentschieden“ = 4, „stimme eher zu“ = 3, „stimme voll zu“ = 2). Bedingt durch die Erkenntnisse einer Faktorenanalyse (vergl. Absatz 2.4) wurden 5 Items (6, 14, 17, 20, 21) von der Summenwertberechnung ausgeschlossen. Ein steigender Gesamtwert wurde bei der Auswertung so interpretiert, dass die Implementierung der digitalen Lehre tendenziell positiver von den Studierenden wahrgenommen wurde. Eine Punktzahl von 80 musste erreicht werden („stimme eher zu“, 16 x 5), um auf eine positive Wahrnehmung zu schließen. Maximal konnten 96 Punkte erreicht werden („stimme voll zu“, 16 x 6). Die abschließenden Fragen ermöglichten den Studierenden die Bewertung der erfolgten Lehre anhand klassischer Schulnoten („sehr gut“ = 1, „gut“ = 2, „befriedigend“ = 3, „ausreichend“ = 4, „mangelhaft“ = 5, „ungenügend“ = 6) im Hinblick auf die folgenden Aspekte: Inhalt, technische Qualität, Interaktionspotential mit dem Dozenten, die Klärungsmöglichkeiten von Fragen und allgemeine Orientierung auf der digitalen Plattform.

2.3 Statistische Analysen

Die statistische Auswertung des Fragebogens erfolgte mit der Software RStudio (RStudio PBC, Boston, Massachusetts, USA, Version 1.2.5033) und mit R (Version 3.6.3) [41, 46]. Ferner wurde unter Verwendung des Kolmogorov-Smirnov-Tests die Verteilungsfunktionen der Daten analysiert und bei nichtnormalverteilten Daten mit dem Mann-Whitney-U-Test auf Unterschiede in der zentralen Tendenz getestet (Signifikanzniveau $\alpha = 0,05$). Einzelne Fragestellungen wurden mittels Chi-Quadrat-Tests analysiert. Zur Datenanalyse und Erstellung der Grafiken wurden die folgenden R-Pakete verwendet: „tidy verse“ [57], „li-

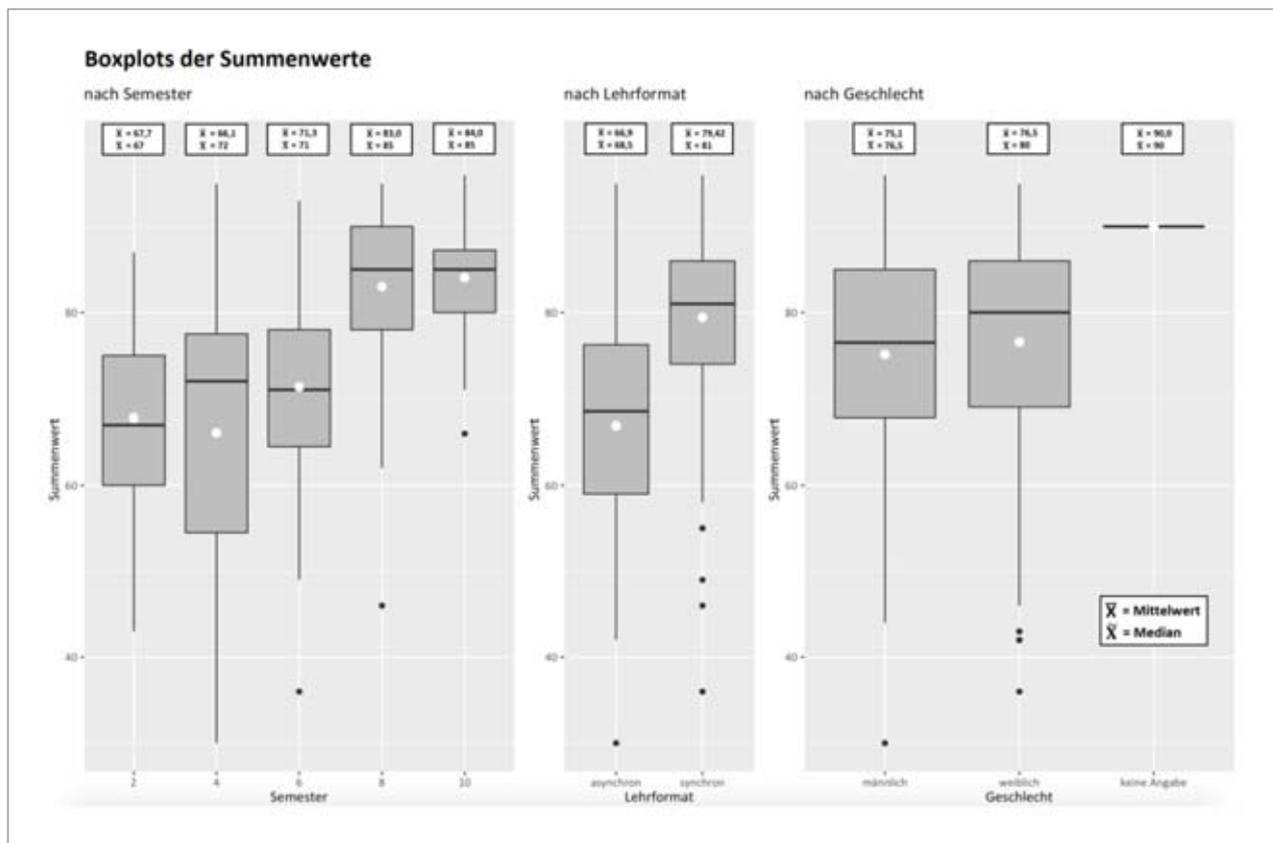


Abbildung 3 Ergebnisse der Summenwertberechnung nach Semester, Lehrformat und Geschlecht

kert“ [9], „HH“ [20], „colorspace“ [58], „lattice“ [47], „lavaan“ [45], „psych“ [42].

2.4 Faktoranalyse

Zur Untersuchung der inneren Struktur des Fragebogens wurde eine explorative Faktorenanalyse durchgeführt. Dabei konnten mithilfe der Hauptkomponentenanalyse mit orthogonaler Varimax Rotation initial 4 Faktoren im Zuge der Datenreduktion extrahiert werden. In Anlehnung an die von Schönrock-Adema et al. definierten Interpretationskriterien (Punkt der stärksten Biegung im Scree-Plot, Eigenwertekriterium $> 1,5$, Minimum 3 Items pro Faktor, Faktorladungen $\geq 0,5$ pro Item) mussten 1 Faktor sowie 5 Fragen (6, 14, 17, 20, 21) von der Summenwertberechnung ausgeschlossen werden [49]. Unter dem 1. Faktor zur Beschreibung der Seminarstruktur firmieren 6 Items (1, 2, 3, 4, 5, 19). Der 2. Faktor enthält die Items 12, 13, 15, 16, 18 und fasst extrinsische, personenbezogene Eigenschaften zusammen, während der 3. Faktor (7, 8, 9, 10, 11) intrinsi-

sche Charakteristiken bündelt. Insgesamt kann mit dem 3-Faktor-Modell die Gesamtvarianz zu 54 % erklärt werden. Die zur Validierung der vorgegebenen Faktorenstruktur abschließend angewandte konfirmatorische Faktorenanalyse ergab einen akzeptablen Modellfit (CFI = 0,94, RMSEA = 0,064) [8, 24].

3. Ergebnisse

Nach Ablauf des Befragungszeitraums (25.05.2020–15.06.2020) lag die Rücklaufquote bei 56 % (Rücklauf: 204/Gesamtzahl: 359) der befragten Studierenden (2. Sem. (24/78), 4. Sem. (29/76), 6. Sem. (49/66), 8. Sem. (47/64), 10. Sem. (55/75)). Dabei war die Beteiligung der klinischen Semester (6., 8., 10.) höher als die der vorklinischen Semester (2., 4.) und zwar 73 % (151/205) vs. 34 % (53/154). Insgesamt waren 72 % (147/204) der Partizipanten weiblich, 27 % (56/204) männlich, 0 % divers. Ein Teilnehmer hat sein Geschlecht nicht angegeben. Das mittlere Alter aller Teilnehmer betrug $23,6 \pm 3,7$ Jahre (2. Sem. = $21,8 \pm 3,6$ /4. Sem. = $22,1 \pm$

$4,2$ /6. Sem. = $23,8 \pm 3,3$ / 8. Sem. = $24,2 \pm 3,0$ /10. Sem. = $26,5 \pm 4,5$). Bezüglich des Summenwertes konnten für die vorklinischen Semester (asynchrones Lehrkonzept) im Mittel 66,9 Punkte (Median 68,5) und für die klinischen Semester (synchrones Lehrkonzept) 79,4 Punkte (Median 81) ermittelt werden. Die Differenz beträgt somit 12,5 (Median 12,5) Punkte, wobei ein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen (asynchron vs. synchron; Mann-Whitney-U-Test: $p < 0,001$) besteht. Die Summenwertberechnung ist in Abbildung 3 dargestellt. Zwölf Studierende, 9 davon weiblich, gaben an, dass sie durch pandemiebedingte Kindergarten- oder Grundschulschließungen Kinder parallel zum Studium zu Hause betreuen mussten (4. Sem.: eine weibliche Studierende, 6. Sem.: 3 weibliche Studierende, 8. Sem.: 4 weibliche und ein männlicher Studierende(r), sowie ein nicht näher bestimmtes Elternteil, 10. Sem.: eine weibliche und ein männlicher Studierende(r)). Aufgrund des geringen Stichprobenumfangs konnte nicht

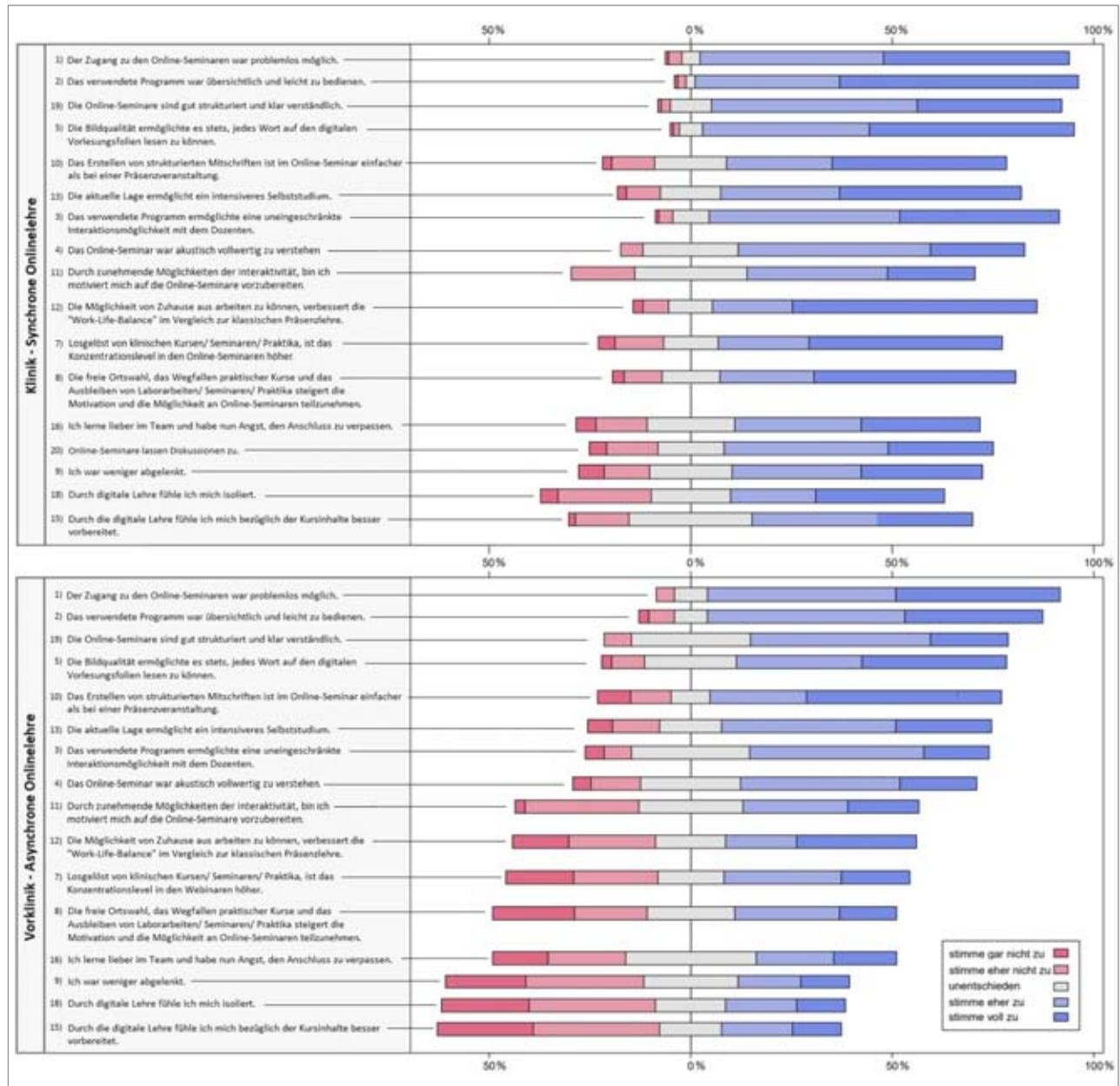


Abb. 1-4, Tab. 1, 2: M. Crome

Abbildung 4 Vergleich der Fragen zur Online-Lehre in der Vorklinik (asynchron) und Klinik (synchron).

beurteilt werden, ob ein statistischer Zusammenhang zwischen einer potenziellen Belastung durch parallele Kinderbetreuung und der Arbeitsleistung (Ablenkungspotenzial, Konzentrationsvermögen) besteht. Rein deskriptiv ausgewertet gaben aber 10 der Studierenden mit Kind an, dass ihre Work-Life-Balance verbessert war, 8 von ihnen scheinen trotz Kinderanwesenheit bei einem Online-Seminar auch weniger abgelenkt gewesen zu sein. Hinsichtlich der Gegebenheiten im Homeoffice verfügten 92 % (188/204) der Studierenden über einen Arbeitsplatz, der es ihnen

ermöglichte, störungsfrei an der digitalen Lehre teilzunehmen. Weiterhin verfügten 90 % der Befragten auch über das notwendige, technische Equipment (Headset, Mikrofone, Webcam), um interaktiv an den Online-Seminaren zu partizipieren. Gleichwohl gaben 4 Studierende an, dass sie weder über einen adäquaten Arbeitsplatz noch über Kommunikationshardware verfügt haben (2. Sem.: 2 Studierende, 8. Sem.: 1 Studierender, 10. Sem.: 1 Studierender). Hinsichtlich der Zugangsmöglichkeiten zu den Online-Seminaren zeigten sich in der Kumulation

87,7 % der Studierenden („stimme voll zu“ = 88) zufrieden, und das unabhängig davon, ob sie ein altes (> 3 Jahre) oder ein neues (< 3 Jahre) technisches Gerät (PC, Tablet, Laptop) verwendeten. Diese konventionellen Geräte wurden von 98,5 % der Teilnehmer genutzt, wobei 34,3 % der Studierenden die Online-Seminare auch unter Verwendung von Smartphones verfolgten. Acht Studierende (3,9 %) gaben an, dass bei ihnen der Zugang nicht problemlos möglich gewesen sei. Die Interaktionsfähigkeit mit dem Dozenten wurde von 76,5 % der Studieren-

Lehrformat	Inhalt	Fragenklärung	Orientierung	Interaktion	Technik
Vorklinik, asynchrone Lehre	2,21 (n = 52)	2,47 (n = 51)	2,42 (n = 52)	2,80 (n = 51)	2,62 (n = 52)
Klinik, synchrone Lehre	1,72 (n = 151)	1,74 (n = 151)	1,93 (n = 151)	2,13 (n = 151)	2,14 (n = 151)
Kolmogorov-Smirnov-Test	0,0821	0,0028	0,0929	0,0074	0,0271
Mann-Whitney-U-Test	p < 0,001	p < 0,001	0,004	p < 0,001	p < 0,001

Tabelle 2 Benotung der Online-Lehre nach Schulnotensystem (Mittelwert/n = Anzahl ausgewerteter Antworten) und statistische Auswertung des Vergleiches Vorklinik (asynchrone Lehre) vs. Klinik (synchrone Lehre).

den als uneingeschränkt betrachtet und semesterübergreifend mit der Note 2,30 bewertet. Dennoch scheinen Diskrepanzen der wechselseitigen Interaktion vorzuliegen, da die erfolgreiche Klärung von Fragen in den klinischen, synchron unterrichteten Semestern mit 1,74 bewertet wurde, wohingegen die vorklinischen, asynchronen Semester nur eine 2,47 vergaben. Dieser Unterschied stellt sich als signifikant heraus (vgl. Tab. 2). Obgleich nur 36 % der Studierenden angab, dass es ihnen aus der heimischen Anonymität heraus leichter gefallen sei Fragen zu stellen, sprachen sich 62,7 % dafür aus, dass sie in Online-Seminaren eine höhere Konzentrationstiefe erreichten und seltener abgelenkt waren (52,4 %). Einen Überblick über die Beantwortung der Fragen zur Online-Lehre in der Vorklinik (asynchron) und Klinik (synchron) zeigt Abbildung 4. Im direkten Vergleich der Vorklinik (asynchrones Konzept) zur Klinik (synchrones Konzept) konnte darüber hinaus ein signifikanter Unterschied in der zentralen Tendenz bei der Bewertung des Inhalts und der Orientierung festgestellt werden (vgl. Tab. 2). In der Detailbetrachtung besteht ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen dem Vorhandensein von Equipment (Headset, Mikrofone, Webcam) und der Benotung von Inhalt, Technik sowie der allgemeinen Orientierung; Mann-Whitney-U-Test: Inhalt ($p = 0,00962$), Technik ($p < 0,001$), Orientierung ($p < 0,001$). Ist Equipment vorhanden, wurden signifikant bessere Noten vergeben: Inhalt (Mittel 1,7 vs. 2,3), Technik (Mittel 2,20 vs. 2,89), Orientierung (Mittel 1,97 vs. 2,89).

4. Diskussion

Das Ziel dieser fragebogenbasierten Untersuchung war es, die studentischen Überzeugungen bezüglich der ad hoc eingeführten, synchronen Online-Lehre im Vergleich zur asynchronen Lehre in der Zahnmedizin zur Zeit der COVID-19-Pandemie zu erfassen. Dabei zeigte sich, dass die Studierenden der Zahnmedizin geschlechterunabhängig sowohl die asynchrone als auch die synchrone Online-Lehre grundsätzlich positiv bewertet haben. Da die statistische Auswertung der Ergebnisse gezeigt hat, dass es einen Bewertungsunterschied zwischen den beiden Lehrformaten gibt, muss die aufgestellte Nullhypothese abgelehnt werden. Neben statistisch signifikanten Unterschieden bei dem Vergleich der Summenwerte konnten ebenso bei der Notenvergabe betreffend Interaktionsfähigkeit, Fragenklärung und Technik Unterschiede konstatiert werden (vgl. Tab. 2). Gleichwohl muss allerdings berücksichtigt werden, dass Studierende der Vorklinik mit denen aus dem klinischen Abschnitt des Zahnmedizinstudiums verglichen worden sind und daher kein homogenes Setting vorgelegen hat. Darüber hinaus war die Teilnahmemotivation der Studierenden in vorklinischen Semestern im Vergleich zu den Studierenden des klinischen Studienabschnitts deutlich reduziert ($\Delta = 39\%$). Weiterhin kann die kritischere Betrachtungsweise der asynchron unterwiesenen Studierenden womöglich dadurch erklärt werden, dass sich der Fragebogen intentionell an der synchronen Online-Lehre, in Form von Online-Seminaren orientiert hat, weshalb sich die asynchron

unterrichteten Teilnehmer nicht zur Gänze in den Fragen wiedergefunden haben könnten. Diese Überlegung wird gestützt durch die Tatsache, dass in der Vorklinik die Fragen zu 7 % als nicht beurteilbar gekennzeichnet wurden, wohingegen der Anteil in der Klinik nur bei 2 % lag. Andererseits kann jedoch angeführt werden, dass dieser Umstand durch die unterschiedlichen Eigenschaften der beiden verglichenen Lehrformen bedingt ist. So sieht die asynchrone Lehre kein Real-Time-Feedback vor, weshalb es auf den ersten Blick plausibel erscheint, dass die vorklinischen Studierenden die Fragen betreffend die Durchführbarkeit von Diskussionen sowie die uneingeschränkte Interaktionsfähigkeit mit dem Dozenten im herkömmlichen synchronen Sinne nicht beantworten konnten. Allerdings muss an dieser Stelle festgehalten werden, dass den Studierenden durchaus ausreichende Kommunikationsmöglichkeiten durch die Lernplattform ILIAS oder via E-Mail offeriert wurden, die sich bestens dafür geeignet hätten, ohne Zeitdruck klar formulierte, zielgerichtete Fragen zu stellen [23]. Somit ist es verwunderlich, dass die Likert-Frage zur Erueirung der Bereitschaft, Fragen aus der heimischen Anonymität heraus zu stellen, in der Vorklinik von 22,6 % der Studierenden als nicht beurteilbar angesehen wurde, da gerade das „distance learning“ u.a. für schüchterne Studierende vorteilhaft sein kann [32]. Da bei dem Fragebogendesign bewusst neben der inhaltlichen Antwortmöglichkeit „unentschieden“ als Skalenmittelpunkt, eine zusätzliche „Don't-know“-Kategorie angeboten wurde, damit Studierende ohne rele-

vante Einstellung nicht zu einer inhaltlichen Stellungnahme genötigt werden, kann nicht abschließend beurteilt werden, inwieweit sich etwaiges Satisficing-Verhalten, Unwissenheit über die kommunikativen Möglichkeiten oder fehlendes Fragenverständnis ausgewirkt haben [16]. Die Literaturrecherche zur asynchronen und synchronen Online- und Präsenzlehre zeigte, dass hinsichtlich des Lernerfolgs und der studentischen Zufriedenheit kein nennenswerter Unterschied zwischen den Lehrformaten besteht [22, 40, 33, 36]. Diese Erkenntnis konnte für die Zahnmedizin durch eine Metaanalyse aus dem Bereich der kieferorthopädischen Lehre bestätigt werden [31], wird aber von den Ergebnissen dieser Studie nicht bestätigt, da ein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Lehrformaten (asynchron vs. synchron) bestand. Lehrformate sind demnach Wissensvehikel mit jeweils charakteristischen Eigenschaften (vgl. Tab. 1), die abhängig von den Umständen und den vermittelten Inhalten ausgewählt werden sollten, damit sie sich dann in einer spezifischen Lehrkonstellation positiv auf den Lernerfolg auswirken können [36]. In Bezug auf den Lernerfolg ist aber die reguläre und kontinuierliche Interaktion der Studierenden mit dem Lernstoff weit wichtiger als das gewählte Lehrformat [35]. Dabei scheint die orale Partizipation, also der direkte Austausch mit dem Dozenten, aber auch mit den Kommilitonen eng mit dem Vorgang des Lernens verbunden zu sein [2, 14]. Diese vermeintliche Korrelation kann insofern auch in der Bewertung der Studierenden der Vorklinik nachvollzogen werden, wo der Kompetenzerwerb zusammen mit den Diskussions- und Fragenstellmöglichkeiten am schlechtesten bewertet wurde. In Anbetracht der Tatsache, dass in der Vorklinik Grundlagenkenntnisse vermittelt werden, die weithin in die Kategorie des deklarativen Wissenserwerbs gehören, erscheint die Wahrnehmung der Studierenden auf den ersten Blick als untypisch, da sich für diese Inhalte ein asynchrones Lehrformat geradezu anbietet. So ist gerade die beliebige Sichtung des Inhalts durch das Anhalten oder Zurückspulen der vertonten Vor-

lesungen, ganz im Sinne des „Self-paced learning“, vorteilhaft [19]. Weiterhin werden der Lernerfolg und das Engagement der Studierenden von dem Gefühl der Gruppenzugehörigkeit beeinflusst [6, 13, 51]. Diese soziale Zugehörigkeit wird durch die geografisch-physische Trennung bei der Distanzlehre auf die Probe gestellt. Überdies erschwert ein asynchrones Setting durch zeitliche Verzögerung oder einen um paralinguistische Signale reduzierten kommunikativen Austausch die Lernsituation, was die Studierenden der Zahnmedizin aber nicht als sonderlich isolierend empfanden. Deutlich schlechter hat in Bezug auf die Bewertung das Ablenkungspotenzial abgeschnitten. Warum sich die Studierenden der Vorklinik im Vergleich zu den Studierenden der Klinik als deutlich stärker abgelenkt sahen, kann nicht plausibel erklärt werden. Ähnlich verhält es sich mit der Work-Life-Balance, denn die asynchrone Online-Lehre ermöglicht den Studierenden eigentlich im Vergleich mit der synchronen Online-Lehre noch einen höheren Grad an Flexibilität und Bequemlichkeit, da keine zeitlichen Rahmenbedingungen eingehalten werden müssen [48]. Interessanterweise bewerteten die nach einem strikten Stundenplan synchron unterwiesenen Studierenden der Klinik ihre Work-Life-Balance dennoch deutlich positiver, als die Studierenden der Vorklinik. Als ein möglicher Erklärungsansatz könnte argumentiert werden, dass die Studierenden der vorklinischen Semester womöglich mehr Zeit in ihr Selbststudium investieren mussten und daher die beispielsweise durch das Wegfallen von An- und Abreise zum Studienort eingesparte Zeit nicht gewinnbringend einsetzen konnten. Andererseits gaben auch die Studierenden der klinischen Semester an, dass sie vermehrt Zeit ins Selbststudium investieren würden, was den Erklärungsansatz wieder relativiert.

5. Schlussfolgerung

Die notwendige Umstrukturierung der konventionellen, präsenzbasierten Lehre in der zahnmedizinischen Ausbildung zur Zeit des Lock-downs während der COVID-19-Pandemie wurde von den Studierenden in der

Gesamtheit positiv bewertet. Dabei wurden synchrone Lehrangebote signifikant besser bewertet als asynchrone Lehransätze. Dennoch sollte, basierend auf den Ergebnissen dieser fragebogenbasierten Lehrstudie in Bezug auf die allgemeine Zufriedenheit der zahnmedizinischen Studierenden, das jeweilige Lehrformat entsprechend der Lernsituation der Studierenden ausgewählt werden. Da aufgrund des gewählten Settings die externe Validität dieser Arbeit nicht umfassend gegeben ist, können die erzielten Ergebnisse jedoch nur für die Studierenden der Zahnmedizin an der Medizinischen Hochschule generalisiert werden.

Interessenkonflikte

Die Autoren erklären, dass kein Interessenkonflikt im Sinne der Richtlinien des International Committee of Medical Journal Editors besteht.

Literatur

1. Amiti F: Synchronous and asynchronous e-learning. *European Journal of Open Education and E-learning Studies* 2020; 5(2)
2. Anderson T, Garrison DR: Learning in a networked world: new roles and responsibilities. 1998. In Gibson C: *Distance learners in higher education*. 97–112. Madison WI: Atwood Publishing
3. Arkorful V, Abaidoo N: "The role of e-learning, advantages and disadvantages of its adoption in higher education". *International Journal of Instructional Technology and Distance Learning* 2015; 12: 29–42
4. Arnold P, Kilian L, Thillosen A et al.: *Handbuch E-Learning: Lehren und Lernen mit digitalen Medien*. 4. Aufl., Bertelsmann, Bielefeld
5. Ball C, Francis J, Huang KT, Kadylak T, Cotton SR, Rikard RV: The physical-digital divide: exploring the social gap between digital natives and physical natives. *J Appl Gerontol* 2019; 38(8)
6. Barber W, King S, Buchanan S: Problem based learning and authentic assessment in digital pedagogy: embracing the tole of collaborative communities. *The Electronic Journal of E-Learning* 2015; 13: 59–64

7. Boelens R, Van Laer S, De Wever B, Elen J: Blended learning in adult education: towards a definition of blended learning. 2015
8. Browne MW, Cudeck R. Alternative ways of assessing model fit. *Sociological Methods & Research* 1992; 21: 230–258
9. Bryer J, Speerschneider K: Likert: Analysis and visualization Likert items. 2016; R package version 1.3.5.
10. Chan TW, Roschelle J, Hsi S, Kinshuk G, Sharples M, Brown T et al.: One-to-one technology-enhanced learning: an opportunity for global research collaboration. *Research and Practice in Technology-Enhanced Learning* 2006; 1: 3–29
11. Cowan J: The advantages and disadvantages of distance education. In: Howard R, McGrath: Distance education for language teachers. A UK perspective. Multilingual Matters LTD, Clevedon, Philadelphia, Adelaide, 1995, 14–20
12. Ebner C, Gegenfurtner A: Learning and satisfaction in webinar, online, and face-to-face instruction: a meta-analysis. *Front Educ* 2019; 4: 92
13. Fletcher T, Bullock SM: Reframing pedagogy while teaching about teaching online: a collaborative self-study. *Professional Development in Education* 2015; 41: 690–706
14. Frymier AB, Houser ML: The role of oral participation in student engagement. *Communication Education* 2016; 65: 83–104
15. Garrison DR, Kanuka H: Blended learning: uncovering its transformative potential in higher education 2004. *The Internet and Higher Education* 2004; 7: 95–105
16. Gilljam M, Granberg D: Should we take don't know for an answer? *Public Opinion Quarterly* 1993; 57: 348–357
17. Gray K, Tobin J: Introducing an online community into a clinical education setting: a pilot study of student and staff engagement and outcomes using blended learning. *BMC Med Educ* 2010; 10: 6
18. Griffiths B: A faculty's approach to distance learning standardization. *Teaching and Learning in Nursing* 2016; 11: 157–162
19. Griffiths M, Graham CR: Using asynchronous video to achieve instructor immediacy and closeness in online classes: Experience from three cases. *International Journal on E-Learning* 2010; 9: 325–340
20. Heiberger RM, Robbins NB: Design of diverging stacked bar charts for Likert scales and other applications. *Journal of Statistical Software* 2014; 57: 1–32
21. Henzi D, Davis E, Jasinevicius R, Hendricson W, Cintron L, Isaacs M: Appraisal of the dental school learning environment: the student's view. *J Dent Educ* 2005; 69: 1137–1147
22. Hrastinski S: Asynchronous and synchronous e-learning. *Educause Quarterly* 2008; 4: 51–55
23. Hrastinski S: The potential of synchronous communication to enhance participation in online discussions. *Information & Management* 2008; 45: 499–506
24. Hu LT, Bentler PM: Cutoff criteria for fit indexes in covariance structure analysis: Conventional criteria versus new alternatives. *Structural Equation Modeling: a Multidisciplinary Journal* 1999; 6: 1–55
25. Karal H, Cebi A, Turgut YE: Perceptions of students who take synchronous courses through video conferencing about distance education. *Turkish Online Journal of Educational Technology-TOJET* 2011; 10: 276–293
26. Keleş MK, Özel SA: A review of distance learning and learning management systems. *Virtual Learning* 2016; 3–5
27. Kerres M: Mediendidaktik: Konzeption und Entwicklung digitaler Lernangebote. 5. Aufl., De Gruyter Studium. Walter de Gruyter GmbH, Boston, Massachusetts 2018, 39–41
28. Kossioni A, Lyrakos G, Ntinalexi I, Varela R, Economu I: The development and validation of a questionnaire to measure the clinical learning environment for undergraduate dental students (DECLEI). *Eur J Dent* 2014; 18: 71–79
29. Leo T, Manganello F, Pennacchiotti M, Pistoia A, Chen NS: (2009, July). Online synchronous instruction: challenges and solutions. In 2009 ninth IEEE international conference on advanced learning technologies 489–491
30. Lewin LO, Singh M, Bateman BL, Glover PB: Improving education in primary care: Development of an online curriculum using the blended learning model. *BMC Med Educ* 2009; 9: 33
31. Lima MS, Tonial FG, Basei E et al.: Effectiveness of the distance learning strategy applied to orthodontics education: a systematic literature review. *Telemedicine and e-Health* 2019; 25: 1134–1143
32. McBrien JL, Jones PT, Cheng R: Virtual spaces: employing a synchronous online classroom to facilitate student engagement in online learning. *International Review of Research in Open and Distance Learning*. 2009; 10 (3)
33. McIsaac MS, Gunawardena CN: Distance education. In: Jonassen DH (Ed.): Handbook of research for educational communications and technology: a project of the Association for Educational Communications and Technology. Simon & Schuster Macmillan, New York 1996, 403–437
34. Michelsen C, Clemens M, Hanisch M, Junker S, Kholodilin KA, Schlaak T: Deutsche Wirtschaft: Corona-Virus stürzt deutsche Wirtschaft in eine Rezession: Grundlinien der Wirtschaftsentwicklung im Frühjahr 2020. DIW Wochenbericht, DIW Berlin, German Institute for Economic Research 2020; 87: 206–229
35. Nieuwoudt JE: Investigating synchronous and asynchronous class attendance as predictors of academic success in online education. *Australas J Educ Technol* 2020; 36: 15–25
36. Nortvig AM, Petersen AK, Balle SH: A literature review of the factors influencing e-learning and blended learning in relation to learning outcome, student satisfaction and engagement. *Electronic Journal of e-Learning* 2018; 6: 46–55
37. Offir B, Lev Y, Bezalel R: Surface and deep learning processes in distance education: Synchronous versus asynchronous systems. *Computers & Education* 2008; 51: 1172–1183
38. Okaz AA: Integrating blended learning in higher education. *Procedia Soc Behav Sci* 2015; 186: 600–603
39. O'Lawrence H: A review of distance learning influences on adult learners: advantages and disadvantages. In Proceedings of the 2005 Informing Science and IT Education Joint Conference
40. Ramage TR: The "no significant difference" phenomenon: a literature review. *Dr Thomas R. Ramage Scholarship*. 2002; 1
41. R Core Team (2020). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria
42. Revelle W: psych: procedures for personality and psychological research, Northwestern University, Evanston, Illinois, USA, 2019
43. Roff S, McAleer S, Harden RM et al: Development and validation of the Dundee ready education environment measure (DREEM). *Med Teach* 1997; 19: 295–299
44. Romiszowski A, Mason R: Computer-mediated communication. In: Jonassen DH (Ed.): Handbook of research for educational communications and technology: a project of the Association for Educational Communications and Technology. Simon & Schuster Macmillan, New York 1996, 403–437
45. Rosseel Y: lavaan: An R package for structural equation modeling. *Journal of Statistical Software* 2012; 48: 1–36

46. RStudio Team (2019). RStudio: Integrated development for R. RStudio, Inc., Boston, Ma

47. Sarkar D: Lattice: Multivariate data visualization with R. Springer, New York 2008

48. Schoech D: Teaching over the internet: results of one doctoral course. Research on Social Work Practice 2000; 10: 467–487

49. Schönrock-Adema J, Heijne-Penninga M, van Hell EA, Cohen-Schotanus J: Necessary steps in factor analysis: enhancing validation studies of educational instruments. The PHEEM applied to clerks as an example. Medical Teacher 2009; 31:6, e226–e232

50. Swaminathan N, Ravichandran L, Ramachandran S: Blended learning and health professional education: protocol for a mixed-method systematic review. J Educ Health Promot 2020; 9 (46)

51. Tomas L, Lasen M, Field E, Skamp K: Promoting online students' engagement and learning in science and sustainability preservice teacher education. Aust J Teach Educ 2015; 40: 78–107

52. Valentine, D: Distance learning: promises, problems, and possibilities. Online Journal of Distance Learning Administration 2002; 5: 1–11

53. Vallée A, Blacher J, Cariou A, Sorbets E: Blended learning compared to traditional learning in medical education: Systematic review and meta-analysis. J Med Internet Res 2020; 22(8): e16504. doi:10.2196/16504

54. Vlasenko L, Bozhok N: Advantages and disadvantages of distance learning. Computer Science 2014

55. Wößmann L: Folgekosten ausbleibenden Lernens: Was wir über die Corona-bedingten Schulschließungen aus der Forschung lernen können. ifo Schnelldienst vorab 2020; 73: 1–7

56. Wong LH: A learner-centric view of mobile seamless learning. Br J Educ Technol 2012; 43: 19–23

57. Wickham et al.: Welcome to the tidyverse. Journal of Open Source Software 2019; 4: 1686

58. Zeileis A, Hornik K, Murrell P: Escaping RGBland: selecting colors for statistical graphics. Computational Statistics & Data Analysis 2009; 53: 3259–3270

59. Vgl. §§ 1a, 2a Nds. GVBL. vom 17.04.2020

60. § 49 Absatz 5 StrlSchV



Foto: MHH

MARIUS CROME
Klinik für Zahnerhaltung,
Parodontologie und Präventive
Zahnheilkunde, OE7740
Medizinische Hochschule Hannover
Carl-Neuberg-Str. 1; 30625 Hannover
crome.marius@mh-hannover.de



Foto: MHH

PROF. DR.
ALEXANDER RAHMAN, MME
Oberarzt
Klinik für Zahnerhaltung,
Parodontologie und
Präventive Zahnheilkunde
Medizinische Hochschule Hannover
Carl-Neuberg-Str. 1, 30625 Hannover
rahman.alexander@mh-hannover.de

Kathinka Offer, Sabine Linsen, Philipp Kohorst

Retrospektive Studie glaskeramischer Einzelzahnrestaurationen nach bis zu 15 Jahren*

Warum Sie diesen Beitrag lesen sollten

Glaskeramische Restaurationen gehören zu den Standardversorgungen in einer Zahnarztpraxis.

Die Kenntnis über mögliche Komplikationen und präventive Maßnahmen ermöglicht die passende Materialauswahl.

Einführung: Glaskeramische Einzelzahnrestaurationen zählen heute aufgrund ihrer Ästhetik, Biokompatibilität und der guten Überlebensraten zu den Standardversorgungen in der zahnärztlichen Praxis. Das Ziel dieser Studie war es, anhand von Daten aus einer allgemein Zahnärztlichen Praxis das Auftreten verschiedener Komplikationen zu untersuchen.

Material und Methoden: Es wurden 1132 Einzelzahnrestaurationen im Seitenzahnbereich aus Empress 2 und IPS e.max von 251 Patienten retrospektiv analysiert. Die Restaurationen wurden in den Jahren von 2000–2015 von einem Behandler in einer privaten, allgemein Zahnärztlichen Praxis eingegliedert. Die Mindestbeobachtungszeit lag bei 2 Jahren. Die Patientenakten wurden hinsichtlich der untersuchten Komplikationen: Fraktur, Wurzelkanalbehandlung, parodontale Komplikationen, Einschleifmaßnahmen bei Okklusionsstörungen, postoperativen Überempfindlichkeiten, Sekundärkaries und Dezementierung ausgewertet. Es erfolgte eine statistische Auswertung in Abhängigkeit vom Material (Empress 2, IPS e.max) und der Restaurationsform (Inlay, Teilkrone, Krone).

Ergebnisse: Es frakturierten 12 der 769 Empress 2-Versorgungen und 3 der 363 IPS e.max-Restaurationen. Zwischen den Materialien ergab sich kein signifikanter Unterschied ($p = 0,411$). Kronen beider Materialien zeigten jedoch mit $p = 0,020$ und $p = 0,040$ eine signifikant höhere Wahrscheinlichkeit zu frakturieren als Inlays oder Teilkronen. Empress 2-Restaurationen zeigten mit 3,6 % im Verhältnis zu IPS e.max-Restaurationen mit 1,4 % signifikant häufiger korrekturbedürftige Vorkontakte ($p = 0,037$). Ein Zusammenhang zwischen okklusalen Einschleifmaßnahmen und der Fraktur einer Restauration bestand nicht ($p = 0,426$). Empress 2-Kronen zeigen mit $p < 0,001$ eine signifikant höhere Wahrscheinlichkeit zu dezementieren als Inlays oder Teilkronen. Zähne mit Restaurationen aus IPS e.max wiesen signifikant häufiger postoperative Überempfindlichkeiten ($p < 0,001$) und Wurzelkanalbehandlungen ($p = 0,041$) auf als Zähne mit Restaurationen aus Empress 2. Parodontale Komplikationen traten bei IPS e.max-Kronen signifikant häufiger auf als bei Inlays oder Teilkronen ($p = 0,005$). Das Auftreten sekundärkariöser Läsionen war weder im Vergleich der Materialien noch der Restaurationsformen signifikant erhöht.

Schlussfolgerung: Beide glaskeramischen Materialien sind im Praxisalltag gut geeignet. Sowohl Empress 2- als auch IPS e.max-Restaurationen erzielten in dieser Studie gute klinische Ergebnisse. Die häufigsten Komplikationen stellten postoperative Überempfindlichkeiten, Frakturen und parodontale Komplikationen dar. Die Anzahl der Komplikationen war bei Kronen höher als bei Teilkronen oder Inlays.

Schlüsselwörter: Glaskeramik; IPS e.max; Empress 2; Einzelzahnrestaurationen; Komplikationen; Langzeitverhalten; retrospektiv; Frakturverhalten

Zahnarztpraxis Dr. Michael Alte, Siegfeldstraße 10b, 53721 Siegburg; Kathinka Offer; Poliklinik für zahnärztliche Prothetik, Propädeutik und Werksstoffwissenschaften, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn; PD Dr. M.Sc Sabine Linsen; Privatpraxis für Zahnheilkunde: Prof. Dr. Philipp Kohorst, Lilienthaler Heerstraße 261, 28357 Bremen
*Deutsche Version der englischen Erstveröffentlichung Offer K, Linsen S, Kohorst P: Retrospective study of glass-ceramic single tooth restorations after up to 15 years. Dtsch Zahnärztl Z Int 2021; 3: 257–265

Zitierweise: Offer K, Linsen S, Kohorst P: Retrospektive Studie glaskeramischer Einzelzahnrestaurationen nach bis zu 15 Jahren. Dtsch Zahnärztl Z 2022; 77: 177–186

Peer-reviewed article: eingereicht: 28.07.2020, revidierte Fassung akzeptiert: 30.11.2020

DOI.org/10.53180/dzz.2022.0014

Retrospective study of glass-ceramic single tooth restorations after up to 15 years

Introduction: Glass-ceramic single tooth restorations count among the standard treatments in dental practice at present owing to their good esthetics, biocompatibility and survival rates. The aim of this study was to investigate the occurrence of various long-term complications based on data collected from a general dental practice.

Material and Methods: A retrospective analysis of 1132 posterior single tooth restorations made of Empress 2 and IPS e.max ceramic from 251 patients was performed. The restorations were placed between 2000 and 2015 by a single dental practitioner in a private general dental practice. The minimum observation period was 2 years. The patient records were examined for the following complications: fracture, root canal treatment, periodontal complications, occlusal adjustment procedures to correct occlusal interferences, postoperative hypersensitivity, secondary caries and decementation. The statistical analysis was based on the ceramic used (Empress 2 and IPS e.max) and the type of restoration (inlay, partial crown, or crown).

Results: Twelve of the 769 Empress 2 and 3 of the 363 IPS e.max restorations failed due to bulk fracture. There was no significant difference between the materials ($p = 0.411$). Crowns displayed a significantly higher fracture rate compared to inlays or partial crowns ($p = 0.02$ and $p = 0.04$), irrespective of material. Empress 2 restorations showed a significantly higher incidence (3.6 %) of premature occlusal contacts requiring adjustment compared to IPS e.max restorations (1.4 %) ($p = 0.037$). No correlation between occlusal adjustment procedures and fracture was observed ($p = 0.426$). Empress 2 crowns had a significantly higher probability of decementation ($p < 0.001$) compared to Empress 2 inlays or partial crowns. Teeth with IPS e.max restorations exhibited significantly more postoperative hypersensitivity ($p < 0.001$) and required root canal treatment significantly more frequently ($p = 0.041$) than teeth with Empress 2 restorations. Periodontal complications occurred significantly more often in teeth with IPS e.max crowns than in teeth with IPS e.max inlays or partial crowns ($p = 0.005$). The incidence of secondary carious lesions was not significantly higher neither with respect to material nor type of restoration.

Conclusion: Both glass-ceramic materials are suitable for everyday use in dentistry; IPS e.max and Empress 2 restorations demonstrated good long-term clinical results and an acceptable amount of complications. The most common complications were postoperative hypersensitivity, fractures and periodontal complications. The number of complications was higher for crowns than for inlays or partial crowns.

Keywords: glass-ceramic; IPS e.max; Empress 2; single tooth restorations; complications; long-term performance; retrospective; fracture rate

1. Einführung

Vollkeramische Einzelzahnrestaurationen sind heute wegen ihrer guten Ästhetik, Biokompatibilität und

der sehr guten Langzeitergebnisse im Hinblick auf die Überlebenswahrscheinlichkeit ein integraler Bestandteil des zahnärztlichen Be-

handlungsspektrums [2, 14, 21, 38, 41].

Die größte Problematik liegt in der mangelnden mechanischen Stabilität und Festigkeit, die insbesondere durch das ausgeprägte Spröbruchverhalten und die geringe Zugbelastbarkeit bestimmt wird [35]. Die daraus resultierenden Frakturen und Abplatzungen stellen eine große Herausforderung für die Praxis und Forschung dar. Dennoch wurden auf diesem Gebiet in den letzten Jahrzehnten große Fortschritte erzielt. Mit der Einführung der Leuzit- und Lithiumdisilikatkeramiken Empress 1 und 2 Ende der 80er- und Anfang der 90er-Jahre konnte durch die Einlagerung mechanisch stabilerer Leuzit- bzw. Lithiumdisilikatkristalle das für Glaskeramiken besonders problematische langsame Risswachstum deutlich reduziert werden.

Während an den werkstoffkundlichen Eigenschaften glaskeramischer Materialien und den Einflussparametern von Befestigungsmaterial viel verbessert wurde, schließt eine große Zahl der Studien weitere Faktoren, die in den Versagensprozess und das Auftreten von Komplikationen eingeschlossen sind, nicht mit ein [12, 13, 31, 36]. So ist bekannt, dass neben materialimmanenten Einflüssen auch dentogene, patientenbezogene und zahnarztabhängige Faktoren die Überlebenswahrscheinlichkeit der Restaurationen beeinflussen [5, 22].

Ziel dieser retrospektiven Studie war es, eine praxisnahe Analyse der Komplikationen von glaskeramischen Inlays, Teilkronen und Kronen aus Empress 2 und IPS e.max Press zu erstellen. Daher wurde das Auftreten der Komplikationen Fraktur, Dezementierung, endodontische Behandlung, postoperative Überempfindlichkeit, parodontale Komplikationen, korrekturbedürftige Einschleifmaßnahmen und Sekundärkaries in Abhängigkeit von der Restaurationsform (Inlay, Teilkrone und Krone) und dem Material Empress 2 und IPS e.max untersucht. Die Nullhypothese war, dass das Auftreten der Komplikationen stochastisch unabhängig sowohl von der Restaurationsform (Inlay, Teilkrone, Krone) als auch von dem Material (Empress 2, IPS e.max) ist.

2. Material und Methoden

2.1 Studiendesign und Komplikationen

Es wurde ein Patientenkollektiv aus einer privaten allgemeinärztlichen Praxis ausgewählt. Alle glaskeramischen Einzelzahnrestaurationen aus Empress 2 oder IPS e.max, die zwischen dem 01.01.2000 und dem 31.12.2015 eingegliedert wurden, gingen in die Studie mit ein. Die Datenerhebung erfolgte retrospektiv über die jeweilige Abrechnungsposition. Die Einschlusskriterien waren: glaskeramische Einzelzahnrestaurationen im Seitenzahnbereich (1 Prämolare bis 3 Molare) aus den Materialien Empress 2 und IPS e.max von Ivoclar Vivadent, eine Mindestbeobachtungsdauer von 2 Jahren sowie ein Mindestalter des Patienten von 18 Jahren.

Die Komplikationen Fraktur, Dezentementierung, postoperative Überempfindlichkeit, Sekundärkaries, okklusale Vorkontakte, parodontale Komplikationen und Wurzelkanalbehandlung wurden im Sinne einer Ja-/Nein-Form ausgewertet. Neben den Komplikationen wurden ebenfalls das Material (IPS e.max und Empress 2) sowie die Restaurationsart (Inlay, Teilkrone und Krone) dokumentiert.

Die Komplikationen wurden wie folgt definiert: Als Fraktur wurden Keramikabplatzungen definiert, welche zum Versagen einer Restauration mit anschließender Neuanfertigung führten. Chipping, das zu keiner Erneuerung der Restauration führte, wurde nicht mit in die Studie aufgenommen.

Wurzelkanalbehandlungen nach Insertion der Versorgung wurden unabhängig von der Erneuerungsbedürftigkeit der Restauration dokumentiert. Als parodontale Komplikationen wurden alle die Situationen gewertet, bei denen der Patient nach Eingliederung der Restauration eine systematische PA-Therapie im Bereich des versorgten Zahns benötigte. Korrekturbedürftige Vorkontakte auf der Restauration und postoperative Überempfindlichkeiten wurden bis zu 4 Monate nach Insertion dokumentiert.

Eine Sekundärkaries wurde dann vermerkt, wenn diese zu einer Fül-

lungstherapie oder zur Erneuerung der Restauration führte.

Das Studienvorhaben wurde von der Ethikkommission der Universität Bonn unter der Nummer 274/20 registriert und am 16.06.2020 genehmigt.

2.2 Behandlungsablauf

Die Patienten stammten aus einer privaten allgemeinärztlichen Praxis und alle Behandlungen wurden von einem Zahnarzt durchgeführt. Die Herstellung der Restaurationen erfolgte im Praxislabor ebenfalls durch einen Zahntechniker.

Vor Behandlungsbeginn wurde bei jedem Patienten der Befund, sowie der Parodontalstatus aufgenommen und eine klinische Funktionsanalyse durchgeführt. In Abhängigkeit der Diagnose wurde eine Vorbehandlung im Sinne einer konservativen Behandlung, professionellen Zahnreinigung/Parodontaltherapie oder Funktionstherapie durchgeführt. Anschließend erfolgten die prothetischen Maßnahmen.

Die Präparation von Inlays und Teilkronen erfolgte defektorientiert mit abgerundeten Innenkanten. Die Präparation der Teilkronen wurde unter Einbeziehung der Höcker als abgerundete 1 mm breite Stufe präpariert. Die Randgestaltung der Kronen wurde ebenfalls als 1 mm breite zirkuläre Hohlkehlnpräparation mit abgerundeten Innenkanten durchgeführt. Der Substanzabtrag lag okklusal zwischen 1,5 und 2 mm und zirkulär bei 1,5 mm. Der okklusale Konvergenzwinkel betrug 6–10°. Die Lage der Präparationsgrenze wurde, abhängig von den klinischen Gegebenheiten, supra-, äqui- oder subgingival gelegt. Spezielles Augenmerk wurde auf die Präparation abgerundeter Kanten gelegt.

Die Präparation wurde mit Polyether (Impregum 3M ESPE) als Doppelmischabformung unter der Doppeldententechnik abgeformt. Die Registrierung der Bisslage erfolgte entsprechend den Anforderungen der individuellen Situation in der maximalen Interkuspidation oder der zentrischen Kondylenposition. Die Restaurationen wurden in dem Pressofen Ivoclar EP 600 Combi nach Herstellerangaben gefertigt. Der Zahnschmelz wurde vor Eingliederung mit 30–40%iger

Phosphorsäure angeätzt und die Restauration 20 sec mit 5%iger Flusssäure konditioniert. Die Eingliederung erfolgte mit dem Adhäsivsystem Syntac Classic (Ivoclar Vivadent) und einem der folgenden dualhärtenden adhäsiven Befestigungsmaterialien: Variolink 2 (Ivoclar Vivadent), RelyX (3M Espe), G-Cem (GC), Panavia SA (Kuraray), Tetric Evo Flow (Ivoclar Vivadent), Filtek Supreme (3M Espe) oder PermaCem (DMG). Sofern es die Situation zuließ, erfolgte die Eingliederung der Restauration unter Kofferdamm. In Fällen, wo die Okklusion korrigiert werden musste, erfolgte dies – nach Eingliederung – mit einer diamantierten Kugel oder Knospe. Die Restaurationen wurden im Anschluss intraoral mit diamantkorn-durchsetzten Keramikpolierern von Kommet (Deutschland) poliert.

2.3 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung und die grafischen Darstellungen erfolgten mit der Software SPSS für Windows, Version 24.0 (IBM, Armonk, NY, USA). Die Daten wurden deskriptiv ausgewertet und in prozentualen und absoluten Zahlen angegeben, um das Auftreten der Komplikationen vergleichsweise zwischen den Restaurationsformen (Inlay, Teilkrone, Krone), sowie zwischen den Materialien (Empress 2, IPS e.max) darzustellen. Zum Vergleich des Auftretens der Komplikationen unter den Restaurationsformen (Inlay, Teilkrone, Krone) und den Materialien (Empress 2, IPS e.max) wurde der Chi-Quadrat Test, und bei geringen Fallzahlen der exakte Test nach Fisher, angewendet. Der Einfluss von Einschleifmaßnahmen auf das Überleben glaskeramischer Einzelzahnrestaurationen wurde mithilfe von Kaplan-Meier-Analysen untersucht und die Signifikanz mithilfe des Log-Rank-Tests ermittelt. Unterschiede zwischen den Gruppen wurden bei $p < 0,05$ als signifikant angegeben.

3. Ergebnisse

Insgesamt wurden 1132 Restaurationen von 251 Patienten ausgewertet. Die durchschnittliche Beobachtungsdauer lag bei $6,5 \pm 3,3$ Jahren.

Es wurden 363 Restaurationen aus IPS e.max und 769 aus Empress 2 her-

	alle Restaurationen		Empress 2		IPS e.max		P
	n	%	n	%	n	%	
Anzahl d. Versorgung	1132	100	769	67,9	363	32,1	–
Frakturen							
gesamt	15	1,3	12	1,6	3	0,8	0,411
Kronen	10	0,9	7	3,3	3	2,6	–
Teilkronen	5	0,4	5	1,6	0	0	–
Inlay	0	0	0	0	0	0	–
Wurzelkanalbehandlung							
gesamt	18	1,6	8	0,7	10	0,9	0,041
Kronen	8	0,7	3	1,4	5	4,3	
Teilkronen	8	0,7	5	1,6	3	1,7	
Inlay	2	0,2	0	0	2	2,7	
Dezementierung							
gesamt	9	0,8	9	0,8	0	0	0,041
Kronen	9	1,2	9	4,2	0	0	
Teilkronen	0	0	0	0	0	0	
Inlay	0	0	0	0	0	0	
Parodontale Komplikationen							
gesamt	13	1,1	8	0,7	5	0,4	0,766
Kronen	6	0,5	1	0,5	5	4,3	
Teilkronen	0	0	5	1,6	0	0	
Inlay	0	0	2	0,8	0	0	
Sekundärkaries							
gesamt	8	0,7	8	0,7	0	0	0,061
Kronen	2	0,1	2	0,9	0	0	
Teilkronen	3	0,3	3	1	0	0	
Inlay	3	0,3	3	1,3	0	0	
okklusale Einschleifmaßnahmen							
gesamt	33	2,9	28	2,4	5	0,5	0,037
Kronen	13	1,1	8	3,7	4	3,6	
Teilkronen	16	1,4	15	4,8	1	0,6	
Inlay	5	0,4	5	2,1	0	0	
Postoperative Hypersensibilität							
gesamt	72	6,3	23	2	49	4,3	0,000
Kronen	39	3,4	7	3,3	32	27,6	
Teilkronen	24	2,1	10	3,2	14	8,1	
Inlay	9	0,8	6	2,5	3	4	

Tabelle 1 Die Komplikationen Fraktur, Wurzelkanalbehandlung, Dezementierung, parodontale Komplikationen, Sekundärkaries, Okklusionsstörung und postoperative Hypersensibilität bei Empress 2- und IPS e.max-Restaurationen

gestellt. Das durchschnittliche Alter lag bei den Patienten mit Empress 2-Restaurationen bei 46,6 ($\pm 10,31$) Jahren und bei Patienten mit IPS e.max Restaurationen bei 51,46 ($\pm 12,29$) Jahren. Es wurden 455 Restaurationen bei männlichen und 677 Restaurationen bei weiblichen Patienten eingegliedert. Von den 1132 Restaurationen waren 331 Kronen (Empress 2 n = 215, IPS e.max n = 116), 487 Teilkronen (Empress 2 n = 315, IPS e.max n = 172) und 314 Inlays (Empress 2 n = 239, IPS e.max n = 75). Von den 1132 Restaurationen waren 1065 Pfeilerzähne vor Behandlungsbeginn vital und 65 avital. Eine Auflistung der Daten findet sich in Tabellen 1 und 2.

3.1 Fraktur

Im Laufe des Beobachtungszeitraumes versagten 15 Restaurationen aufgrund einer Fraktur. Davon waren 12 (1,6 %) aus Empress 2 und 3 (0,8 %) aus IPS e.max. Mit $p = 0,411$ zeigt sich kein signifikanter Unterschied in dem Frakturverhalten von Empress 2- und IPS e.max-Restaurationen.

Bezogen auf die Versorgungsform frakturierten 10 Kronen (3 IPS e.max, 7 Empress 2) und 5 Teilkronen aus Empress 2. Kronen aus Empress 2 und IPS e.max frakturierten signifikant häufiger ($p < 0,04$ und $p < 0,02$) als Teilkronen und Inlays aus dem gleichen Material (s. Tab. 1 und 2).

Des Weiteren frakturierte ausschließlich eine von 33 Restaurationen, die aufgrund von korrekturbedürftigen Vorkontakten eingeschleift werden mussten. Dies entspricht einer Überlebenswahrscheinlichkeit von 97,0 % in der Gruppe mit Einschleifmaßnahmen, und 98,7 % in der Gruppe ohne Einschleifmaßnahmen. Mit $p = 0,426$ sind die Unterschiede zwischen den beiden Gruppen nicht signifikant (Abb. 1).

3.2 Wurzelkanalbehandlung

Insgesamt wurden 18 (1,6 %) der 1132 Zähne nach Eingliederung der Restauration wurzelkanalbehandelt. Acht (0,7 %) Restaurationen waren aus IPS e.max und 10 (0,9%) aus Empress 2. Der Unterschied zwischen den Materialien ist mit $p = 0,041$ statistisch signifikant (s. Tab. 1 und 2).

Zwischen den verschiedenen Versorgungsformen zeigte sich weder bei Empress 2- noch bei IPS e.max-Restaurationen ein signifikanter Unterschied hinsichtlich einer erforderlichen Wurzelkanalbehandlung.

3.3 Dezentierung

Es lockerten sich 9 der 769 Empress 2-Restaurationen (1,2 %) und keine der 363 IPS e.max-Restaurationen. Bei einem Vergleich der Materialien zeigte sich kein statistisch signifikanter Unterschied (s. Tab. 1 und 2).

Bezogen auf die Restaurationsform lockerten sich von den Empress 2-Restaurationen ausschließlich Kronen ($p < 0,001$).

3.4 Parodontale Komplikationen

Es zeigten 8 von 769 Zähnen mit Empress 2-Restaurationen und 5 der 363 IPS e.max-Restaurationen nach Eingliederung eine parodontale Verschlechterung mit der Notwendigkeit einer systematischen Parodontaltherapie. Es besteht kein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen dem Material ($p = 0,766$) und einer parodontalen Verschlechterung.

Bei IPS e.max-Restaurationen zeigten Kronen signifikant häufiger ($p = 0,005$) parodontale Komplikationen als Teilkronen oder Inlays des gleichen Materials (s. Tab. 1 und 2).

3.5 Sekundärkaries

Acht der 769 Empress 2-Restaurationen und keine der 363 IPS e.max-Restaurationen entwickelten in dem Beobachtungszeitraum sekundär kariöse Läsionen.

Sowohl im Vergleich der Materialien als auch im Vergleich der Versorgungsform zeigten sich keine statistisch signifikanten Unterschiede ($p > 0,061$) (s. Tab. 1 und 2).

3.6 Korrekturbedürftige Vorkontakte

Empress 2-Restaurationen erforderten signifikant häufiger ($p = 0,037$) okklusale Korrekturen als Versorgungsformen mit IPS e.max (28 von 769 versus 5 von 363).

Die Form der Restauration hatte hingegen keinen signifikanten Ein-

fluss auf notwendige okklusale Korrekturen (s. Tab. 1 und 2).

3.7 Postoperative Überempfindlichkeit

Zähne mit IPS e.max-Restaurationen wiesen signifikant häufiger ($p = 0,001$) postoperative Überempfindlichkeiten auf als Zähne mit Empress 2-Restaurationen (49 von 363 Restaurationen versus 23 von 769 Restaurationen).

IPS e.max-Kronen weisen in dieser Studie ein höheres Risiko für postoperative Überempfindlichkeiten auf als Teilkronen und Inlays (s. Tab. 1 und 2).

4. Diskussion

Das Auftreten von Komplikationen wurde in Abhängigkeit des Materials und der Restaurationsform ausgewertet. Die Ergebnisse können für den Behandler als Entscheidungshilfe hinsichtlich der Materialauswahl und der Restaurationsform dienen.

4.1 Fraktur

Es ergaben sich in dieser Studie keine signifikanten Differenzen zwischen den Frakturaten von Empress 2 und IPS e.max. Jedoch zeigten sich bedeutende Unterschiede zwischen den Restaurationen im Hinblick auf die Restaurationsform ($p < 0,04$). Kronen beider Materialien zeigten eine deutlich höhere Wahrscheinlichkeit zu frakturieren als Inlays oder Teilkronen. Eine mögliche Ursache hierfür, kann in dem Anstieg der Fehler pro Fläche liegen. Mit zunehmender Größe steigen auch die für das Versagen verantwortlichen Mikrorisse und Poren in der Restauration [35].

Zusätzlich zeigen Teilkronpräparationen in In-vitro-Untersuchungen unter Belastung ein sehr günstiges Stressmuster [7]. Dies könnte, in Kombination mit der überwiegend schmelzbegrenzten Präparation [34], die signifikant besseren Frakturaten von Teilkronen und Inlays erklären.

Neben materialimmanenten Fehlern, einer ausreichenden Materialschichtstärke und dem adhäsiven Verbund hat auch die korrekte Präparation einen fundamentalen Einfluss auf den klinischen Erfolg glaskeramischer Restaurationen [11, 19, 33]. Aufgrund des retrospektiven Stu-

dienansatzes ist es nicht möglich, die Materialschichtstärken und materialgerechte Präparation nachzuvollziehen. Eine falsche, ggf. zu eckige, Präparation und/oder ein zu geringer Materialabtrag für die glaskeramischen Kronen könnten die erhöhten Frakturaten dieser gegenüber den Teilkronen und Inlays ebenfalls erklären.

Die Ergebnisse in der Literatur zu den Frakturaten von IPS e.max-Restaurationen entsprechen den hier dargestellten [23], während die Ergebnisse der Frakturaten von Empress 2-Restaurationen in dieser Studie deutlich geringer sind als in der Literatur angegeben [12]. So ergab eine 10-Jahres-Studie zu der Überlebenswahrscheinlichkeit von IPS e.max-Restaurationen von Malament et al. [23] eine Frakturrate von 0,3 %. Hier wurden jedoch neben Einzelzahnrestaurationen auch dreigliedrige Brücken und einflügelige Adhäsivbrücken mit in die Studie aufgenommen. Bei den Frakturaten wurde nicht zwischen den verschiedenen Restaurationsformen differenziert.

Die Frakturrate von Empress 2-Restaurationen war in der vorliegenden Studie mit 0,8 % im Vergleich zur Literatur, die Werte zwischen 1 % und 15,6 % angibt, deutlich geringer [8, 10]. Es ist hier jedoch zu berücksichtigen, dass das Studiendesign mitunter stark variierte. So zeigte eine prospektive 12-Jahres-Studie von Frankenberger et al. [12] eine Frakturrate von 12,5 % für Empress 2-Inlays und -Onlays. In dieser Studie wurde jedoch, neben den Frakturaten, auch der Einfluss verschiedener Befestigungsmaterialien untersucht. Es zeigte sich, dass Restaurationen, die mit einem lichthärtenden adhäsiven Befestigungsmaterial eingesetzt wurden, häufiger frakturierten als jene, die mit einem dualhärtenden Befestigungsmaterial eingegliedert wurden [12]. Die Frakturrate wurde jedoch unabhängig von dem Befestigungsmaterial bestimmt [12]. Da in der vorliegenden Studie ausschließlich dualhärtende Befestigungsmaterialien verwendet wurden, könnte dies eine mögliche Ursache für die besseren Ergebnisse sein. In einer retrospektiven 11-Jah-

res-Studie von Fradeani et al. [10] zur Frakturnrate von leuzitverstärkten glaskeramischen Kronen wurde eine Frakturnrate von 15,6 % für Seitenzahnrestaurationen über den Untersuchungszeitraum ermittelt. Es wurden in dieser Studie ausschließlich Kronen untersucht. Die in der vorliegenden Studie dargestellten Ergebnisse legen nahe, dass es signifikante Unterschiede zwischen den Überlebensraten verschiedener Einzelzahnrestaurationen (Inlays, Teilkronen und Kronen) gibt. Da Kronen in dieser Studie signifikant häufiger frakturierten als Teilkronen oder Inlays und Fradeani et al. [10] ausschließlich Kronen untersuchten, könnte dies die deutlich schlechteren Werte erklären.

Eine Metaanalyse von El-Mowafy et al. [8], welche die Überlebenswahrscheinlichkeiten und das klinische Langzeitverhalten von Empress 2-Restaurationen untersuchte, zeigte für Empress 2-Kronen etwas niedrigere Überlebensraten (zwischen 92 % und 99 % nach 3–3,5 Jahren) als für entsprechende Inlays und Teilkronen (von 91 % und 96 % nach 4,5–7 Jahren). Diese Ergebnisse entsprechen am ehesten den Ergebnissen der hier dargestellten Studie.

In der Literatur werden oft, neben der Degradation (bzw. Korrosion) silikatkeramischer Werkstoffe, Einschleifmaßnahmen und die damit verbundene Entstehung neuer Risse für das Versagen einer Restauration verantwortlich gemacht [19]. Allerdings ist die Literatur zu diesem Thema nicht einheitlich: In einer Studie von Ludovichetti et al. [20] zeigte sich auch nach mechanischer Alterung kein negativer Einfluss auf die Bruchfestigkeit von IPS e.max- und Lava Ultimate-(Vita Enamic-)Proben nach Schleif- und Politurmaßnahmen. Schmitter et al. wiesen hingegen [29] eine reduzierte Bruchfestigkeit ($560,6 \pm 233,3$ N vs. $535,5 \pm 128,0$ N) für Zirkoniumdioxidkronen im Frontzahnbereich nach inzisalen Einschleifmaßnahmen nach. In der vorliegenden Studie konnte dies nicht bestätigt werden. Die Überlebenswahrscheinlichkeit von den Restaurationen, die Einschleifmaßnahmen erhielten, beträgt 97,0 % im Verhältnis zu 98,7 % der

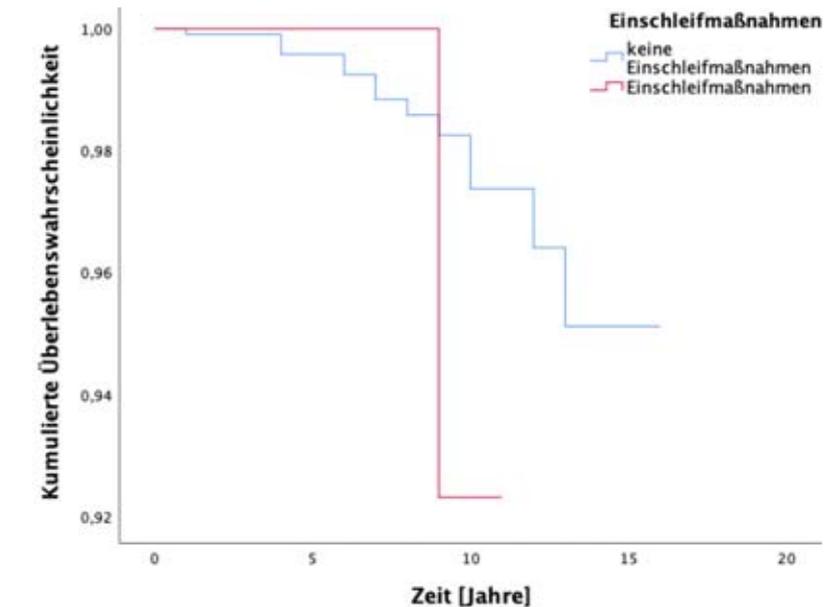


Abbildung 1 Kaplan-Meier-Diagramm zur Überlebenswahrscheinlichkeit von Restaurationen, die aufgrund von korrekturbedürftigen Vorkontakten okklusal eingeschliffen wurden, und Restaurationen, die nicht eingeschliffen wurden.

Restaurationen ohne Einschleifmaßnahmen ($p = 0,426$). Weitere, insbesondere klinische, Studien zu diesem Thema sind notwendig, um endgültige Schlussfolgerungen zu ziehen.

Die Ergebnisse dieser Studie legen nahe, dass ein Zusammenhang zwischen dem Frakturverhalten und der Größe einer Restauration besteht. Da Kronen signifikant häufiger frakturierten als Inlays und Teilkronen, empfiehlt sich, hier vor der prothetischen Planung und Materialauswahl eine Risikoanalyse zu machen, um ggf. rechtzeitig die Weichen für eine langlebige Restauration stellen zu können. Da retrospektiv die Gründe für eine Fraktur nicht mehr in den Einzelheiten nachzuvollziehen sind, möchten wir an dieser Stelle nochmals auf die Wichtigkeit der Einhaltung der Materialstärke hinweisen.

4.2 Endodontische Behandlung

In dieser Studie wurden an Zähnen mit IPS e.max-Restaurationen signifikant häufiger ($p = 0,045$) endodontische Behandlungen durchgeführt als an Zähnen mit Empress 2-Restaurationen. Eine Unterscheidung zwischen den Restaurationsformen Inlay, Teilkrone und Krone ergab keinen signifikanten Unterschied.

Es gibt wenig Literatur zu endodontischen Komplikationen bei glaskeramischen Restaurationen. Die Versagensraten aufgrund endodontischer Komplikationen werden für IPS e.max zwischen 0,2 % und 2 % angegeben [17, 30] und liegen damit etwas niedriger als in dieser Studie.

Der Zerstörungsgrad der Zahnhartsubstanz vor der Restauration und die Nähe des Defekts zur Pulpa wurden in dieser Studie nicht dokumentiert. Da ein Zusammenhang mit dem Restaurationsmaterial eher unwahrscheinlich ist, erscheint es für zukünftige Untersuchungen sinnvoll, weitere Einflussfaktoren wie die Defektausdehnung, Indikationen für eine Restaurationsversorgung, das verwendete Ätz- und Adhäsivsystem bzw. das Befestigungsmaterial zu beachten.

Trotz signifikanter Unterschiede zwischen den Materialien, weisen sowohl Empress 2- als auch IPS e.max-Restaurationen ein geringes Risiko für eine sekundäre endodontische Therapie auf.

4.3 Dezementierung

In der vorliegenden Studie lösten sich 9 Empress 2-Kronen und keine der IPS e.max-Restaurationen. Der Unterschied zwischen den Restaurations-

formen war bei den Empress 2-Restaurationen statistisch signifikant ($p = 0,001$) während sich im Vergleich der Materialien kein signifikanter Unterschied ergab. Kronen aus Empress 2 lockerten sich signifikant häufiger als Teilkronen oder Inlays des gleichen Materials.

In der Literatur liegen bislang wenige vergleichbare Studien vor. In einer Studie von van den Breemer et al. [41] lockerten sich 2 der 73 (1,2 %) Lithiumdisilikatrestaurationen über einen Zeitraum von 15 Jahren. Damit war die Lockerung nach Fraktur und Sekundärkaries die dritthäufigste Versagensursache. Ebenfalls zeigten van den Breemer et al. [40] in einer systematischen Literaturübersicht, dass die Haftkraft glaskeramischer Restaurationen bei einem reinen Dentinverbund signifikant geringer ist als bei dem Verbund im Zahnschmelz. Da die Dentinwunde bei einer Kronenpräparation am größten ist und von der Teilkrone zum Inlay weiter absinkt, könnte dies eine mögliche Erklärung für die in dieser Studie ermittelten, höheren Dezementierungsraten von Empress 2-Kronen sein.

Die Dezementierung von Empress 2-Restaurationen wurde ebenfalls bislang in wenigen Studien diskutiert. Die lässt sich u.U. darauf zurückführen, dass die Lockerung einer Restauration – bei möglicher Rezentementierung – nicht als Versagen gewertet wurde und somit in einer Vielzahl der Studien unerwähnt bleibt.

Teichmann et. al. [37] gaben in einer prospektiven Studie zu den Komplikations- und Überlebensraten von Lithiumdisilikatrestaurationen eine Dezementierungsrate von 6,9 % nach 10 Jahren an. Diese Ergebnisse liegen deutlich über den in dieser Studie ermittelten Werten von 1,1 % nach 15 Jahren. Teichmann et. al. schlossen in ihre Studie sowohl konventionell als auch adhäsiv befestigte Restaurationen ein. In der vorliegenden Studie wurden die Restaurationen ausschließlich mit dualhärtenden adhäsiven Befestigungsmaterialien eingliedert. Dies könnte eine Ursache für die abweichenden Ergebnisse sein. In der Literatur wurde mehrfach nachgewiesen, dass Scher-, Zug- und Haftkraft adhäsiver Befestigungsmaterialien denen konventioneller Befesti-

gungszemente signifikant überlegen sind [3, 4, 24, 26, 40]. Da die Dezementierungsraten konventionell zementierter glaskeramischer Restaurationen signifikant von adhäsiv befestigten abweichen [25], kann dies die Unterschiede in den Ergebnissen erklären.

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie legen nahe, dass neben den in der Literatur beschriebenen Einflüssen der Oberflächenkonditionierung, des verwendeten Befestigungsmaterialien und der restlichen Zahnhartsubstanz [25, 40] auch die Restaurationsform Einfluss auf eine Dezementierung der Restauration nehmen kann.

Da in dieser Studie die Lage des Kronenrandes (supra- oder subgingival) jedoch nicht dokumentiert wurde, dieser jedoch maßgeblich die Möglichkeit einer absoluten Trockenlegung und damit einhergehend mögliche Fehler bei der adhäsiven Befestigung beeinflusst, empfiehlt es sich, diesen in zukünftige Studien zu integrieren.

4.4 Parodontale Probleme

Fünf der mit 111 IPS e.max-Kronen versorgten Zähne zeigten parodontale Komplikationen. Zähne mit Teilkronen und Inlays aus dem gleichen Material waren nicht betroffen. Kronen wiesen damit signifikant häufiger ($p = 0,005$) parodontale Komplikationen auf als Inlays oder Teilkronen.

Zwischen den Materialien Empress 2 und IPS e.max zeigten sich keine signifikanten Unterschiede.

Diese Ergebnisse entsprechen der aktuellen Literatur. So wiesen Ababnaeh et al. [1] nach, dass Klasse-II-Restaurationen die höchsten Sondierungstiefen sowie den höchsten Plaqueindex aufwiesen, Klasse-V-Restaurationen den höchsten Attachmentverlust zeigten und Kronen den höchsten Gingivaindex im Bereich des Restaurationsrandes aufwiesen. All diese Restaurationen haben die nahe Lokalisation des Präpräparates zu der Schmelz-Zementgrenze, dem Zahnfleischsaum und dem subgingivalen Bereich gemeinsam.

In der vorliegenden Studie wurden weitere Einflussfaktoren wie das verwendete Befestigungsmaterial, das

Adhäsivsystem, die Lage und Integrität des Kronenrandes und der Plaqueindex, nicht mit einbezogen. Da es sich um einen retrospektiven Ansatz handelt, konnten diese Faktoren nicht in der notwendigen Einheit und Systematik, welche eine zweifelsfreie Beurteilung bedarf, aus den Patientenakten entnommen werden. In dieser Studie galt ausschließlich die Notwendigkeit einer systematischen PA-Therapie als Kriterium für parodontale Komplikationen. Weitere Informationen wie der PSI, der Plaqueindex, das Attachmentlevel oder die Lage und Integrität des Kronenrandes können hilfreich sein, um die multifaktoriellen Einflüsse, die zu einer Schädigung führen können, einzubeziehen und differenziert zu betrachten.

Zusammenfassend zeigen keramische Restaurationen jedoch eine hohe Biokompatibilität und werden als parodontal sehr gut verträglich beschrieben [1]. Dies spiegelt sich auch in dieser Studie wieder. Eine Parodontaltherapie musste daher auch nur bei 1 % aller Empress 2- und bei 1,4 % aller IPS e.max-Restaurationen durchgeführt werden.

4.5 Sekundärkaries

Eine Sekundärkaries erforderte bei 1 % aller Empress 2-Restaurationen und bei keiner der IPS e.max-Restaurationen eine Therapie. Damit stellt sie die seltenste Komplikation dar. Zwischen den Materialien Empress 2 und IPS e.max und im Vergleich der Restaurationsformen ergaben sich keine statistisch signifikanten Unterschiede.

In verschiedenen Metaanalysen [8, 39] stellte sich Sekundärkaries als die häufigste Komplikation glaskeramischer Restaurationen dar.

Da bekannt ist, dass soziodemographische Faktoren Einfluss auf die Kariesprävalenz [6, 16] nehmen, ist es möglich, dass dies eine Ursache für die unterschiedlichen Ergebnisse der Literatur und dieser Studie ist. Das Patientenkollektiv dieser Studie stammte aus einer privaten zahnärztlichen Praxis, für weitere Studien wäre ein soziodemographisch ausgewogeneres Patientenkollektiv wünschenswert. Zusätzlich könnte die Erfassung des Plaqueindex und der Mundhygieneangewohnheiten des

	Krone		Teilkrone		Inlay		P
	n	%	n	%	n	%	
Fraktur gesamt	10	0,9	5	0,4	0	0,0	0,020 0,040
Empress 2	7	3,3	5	1,6	0	0,0	
IPS e.max	3	2,6	0	0,0	0	0,0	
Wurzelkanal- behandlung gesamt	8	0,7	8	0,7	2	0,2	0,158 0,042
Empress 2	3	1,4	5	1,6	0	0,0	
IPS e.max	5	4,3	3	1,7	2	2,7	
Dezementierung gesamt	9	0,8	0	0,0	0	0,0	0,000 –
Empress 2	9	4,2	0	0,0	0	0,0	
IPS e.max	0	0,0	0	0,0	0	0,0	
Parodontale Komplikationen gesamt	6	0,5	5	0,4	2	0,2	0,427 0,005
Empress 2	1	0,5	5	1,6	2	0,8	
IPS e.max	5	4,3	0	0,0	0	0,0	
Sekundärkaries gesamt	2	0,1	3	0,3	3	0,3	0,925 –
Empress 2	2	0,9	3	1,0	3	1,3	
IPS e.max	0	0,0	0	0,0	0	0,0	
Okklusale Ein- schleifmaßnahmen gesamt	13	1,1	16	1,4	5	0,4	0,251 0,064
Empress 2	8	3,7	15	4,8	5	2,1	
IPS e.max	4	3,6	1	0,6	0	0,0	
Postoperative Hypersensibilität gesamt	39	3,4	24	2,1	9	0,8	0,870 0,000
Empress 2	7	3,3	10	3,2	6	2,5	
IPS e.max	32	27,6	14	8,1	3	4,0	

Tabelle 2 Komplikationen nach den Restaurationsarten von Empress 2- und IPS e.max-Restaurationen getrennt

Patienten Aufschluss über patientenimplizierte Einflussfaktoren geben.

4.6 Okklusale Vorkontakte

Es ergab sich mit $p = 0,037$ ein signifikanter Unterschied im Hinblick auf die okklusale Vorkontakte zwischen Empress 2 (3,6 %) und IPS e.max (1,4 %). Hinsichtlich der Restaurationsform ergaben sich keine Unterschiede.

In der Literatur wird die okklusale Passung von IPS e.max-Restaurationen als sehr gut bewertet [9]. Zu den Empress 2-Restaurationen sind vergleichbare Studien in der Literatur nicht vorhanden.

Es ist zu berücksichtigen, dass die Anzahl eingegliedert Restaurationen einen Einfluss auf die Notwendigkeit der einzuschleifenden okklusale Vorkontakte hat. Bei Patienten mit der Notwendigkeit ok-

klusale Korrekturen wurden durchschnittlich 8,8 Restaurationen eingegliedert, bei Patienten ohne notwendige okklusale Korrekturen im Durchschnitt nur 4,5. Dies deutet darauf hin, dass neben dem Material auch die Anzahl der Restaurationen einen Einfluss auf okklusale Interferenzen haben kann.

Eine erhöhte Zahl an Restaurationen ist u.a. auch bei einer Bisslageveränderung indiziert. Die sagittale und vertikale Rehabilitation der Bisslage beinhaltet viele Zwischenschritte, die zu einer Kumulation der okklusale Fehler beitragen können. Alle Patienten, die in dieser Studie glaskeramische Restaurationen aufgrund von einer Bisslageveränderung erhielten, wurden mittels einer Schiene vortherapiert. Die Registrierung erfolgte in der zentrischen Kondylenposition.

Die Ursachen für eine Rekonstruktion der Bisslage und Zahnhartsubstanz können vielfältig sein, dennoch stellen parafunktionell bedingte Abrasionen und Erosionen ein weit verbreitetes Indikationsfeld dar. Dies sollte berücksichtigt werden, da Patienten, die bereits vor der Therapie Parafunktionen zeigten, auch danach sensibler auf Störungen in der Okklusion reagieren können.

In dieser Studie zeigten 3 von den 7 Patienten mit Okklusionsstörungen Zeichen eines ausgeprägten Bruxismus im Sinne einer Myopathie und von nicht altersgerechten Abrasionsfacetten, weitere 2 von 7 wiesen einen moderaten Bruxismus auf. Lediglich 2 Patienten zeigten keine Symptome, welche für diese Parafunktion sprechen würden. In weiteren Studien sollte daher auch der Zusammenhang zwischen der Indikation zur Rehabilitation, der Anzahl der Restaurationen sowie der Bruxismusaktivität mit dem Auftreten posttherapeutischer okklusale Interferenzen untersucht werden.

Wie unter dem Punkt 4.2. Fraktur bereits diskutiert, konnten in dieser Studie keine erhöhten Frakturraten, nach der Korrektur okklusale Störungen, ermittelt werden.

4.7 Postoperative Überempfindlichkeit

Postoperative Überempfindlichkeiten zeigten sich bei IPS e.max-Restaurationen, insbesondere bei Kronen, signifikant häufiger als bei Empress 2-Restaurationen.

In der Literatur zeigen sich für Empress 2-Restaurationen ähnliche Ergebnisse. Van Dijeken et al. [42] beschrieben 2010 für 3 % der Restaurationen eine 2–4 Wochen andauernde Überempfindlichkeit während bei Krämer et al. [18] 4 % der Empress 2-Inlays Überempfindlichkeiten bis zu 4 Jahren nach Eingliederung aufwiesen. In beiden Studien wurden die Restaurationen adhäsiv befestigt (Van Dijeken: Drei 3-Schritt Etch-and-Rinse-Systeme und zwei 2-Schritt-Etch-and-Rinse-Systeme, Krämer: EBS Multi/Compolute (3M Espe) und Syntac/Variolink II).

Für Lithiumdisilikatkeramiken fehlen vergleichbare Studien. Solá-Ruiz et al. [32] ermittelten in einer prospektiven 10-Jahres-Studie für dreispinnige

Brücken mit einem Gerüst aus Lithiumdisilikatkeramik einen Prozentsatz von 14,3 % für eine reversible postoperative Überempfindlichkeit. Dies würde mit dem in dieser Studie ermittelten Ergebnis übereinstimmen.

Auch wenn es für postoperative Überempfindlichkeiten verschiedene Ursachen gibt, wie eine erhöhte Wärmeleitfähigkeit des Restaurationsmaterials oder eine pulpanahe Präparation, wird sie heute in erster Linie mit adhäsiven Restaurationen oder adhäsiven Restaurationsmaterialien in Verbindung gebracht.

Die Ursache hierfür liegt – nach der hydrodynamischen Theorie von Brännström und Atström [15] – bei intratubulären Flüssigkeitsverschiebungen, welche durch kleine Spalt Räume zwischen Dentin und Komposit entstehen. Werden die Dentinkanäle nicht vollständig von dem applizierten Bondingsystem verschlossen, kann Dentinliquor austreten und bei okklusaler Belastung eine Reizung der A δ -Fasern verursachen.

Die Verwendung von dualhärten Adhäsiven und Phosphorsäure gilt als weiteres Risiko für das Auftreten einer postoperativen Hypersensibilität [15]. Da in dieser Studie für beide Restaurationsmaterialien sowohl Phosphorsäure als auch dualhärtende adhäsive Befestigungsmaterialien (Variolink II [Ivoclar Vivadent], G-Cem [GC], RelyX [3M Espe], Tetric EvoFlow [Ivoclar Vivadent], Panavia SA Cement [Kuraray], G-Cem [GC], Filtek Supreme [3M Espe], PermaCem [DMG]) zur Konditionierung der Zahnhartsubstanz und Befestigung der Restauration verwendet wurden, lassen sich die signifikanten Differenzen bezüglich der Überempfindlichkeit dadurch jedoch nicht erklären.

Ursächlich für die Unterschiede zwischen den Restaurationsformen könnte die Größe und Tiefe der Dentinwunde sein. Während für eine Kronenpräparation das Ausmaß der Dentinwunde am größten ist, sinkt diese von Teilkronen zum Inlay kontinuierlich ab. Dies spiegelt sich auch in den ermittelten Werten wider.

Dennoch ist hiermit nicht der Unterschied zwischen den Materialien erklärt, da sich bei Empress 2-Restaurationen mit 3,3 % der Kronen, 3,2 % der Teilkronen und

2,5 % der Inlays keine signifikanten Unterschiede zeigten.

Da sowohl Empress 2- als auch IPS e.max-Restaurationen in verschiedenen Studien sehr gute Ergebnisse hinsichtlich der Biokompatibilität, chemischen Beständigkeit, Zytotoxizität und des Sensibilisierungspotenzials [2, 27, 28] zeigten, erscheinen materialimmanente toxikologische Eigenschaften als Ursache für die postoperative Hypersensibilität unwahrscheinlich. Es zeigten sich zwischen Empress 2- und IPS e.max-Restaurationen keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich der Verteilung der Restaurationsform, des Patientenalters oder des Geschlechts, welche die erhöhte Überempfindlichkeit von IPS e.max-Restaurationen erklären könnten.

Aufgrund des retrospektiven Studienansatzes ist es nicht mehr möglich, Abweichungen hinsichtlich der verwendeten Ätz- und Adhäsivsysteme einwandfrei nachzuvollziehen, die ein möglicher Grund für die erhöhte Hypersensibilität von IPS e.max-Restaurationen sein könnten.

5. Schlussfolgerungen

Zusammenfassend zeigten im Praxisalltag sowohl Empress 2- als auch IPS e.max-Restaurationen gute klinische Ergebnisse und ein akzeptables Maß an Komplikationen. Okklusale Einschleifmaßnahmen scheinen die Frakturrate glaskeramischer Restaurationen nicht zu erhöhen. Mit Abnahme der Schmelzbegrenzung steigt jedoch das Risiko für Frakturen, Dezementierungen, parodontale Komplikationen und postoperativen Überempfindlichkeiten.

IPS e.max-Restaurationen zeigten in dieser Studie signifikant häufiger postoperative Überempfindlichkeiten, Wurzelkanalbehandlungen und parodontale Komplikationen als Empress 2-Restaurationen.

Wegen der nachgewiesenen sehr guten toxikologischen Eigenschaften beider Keramiken [2, 27, 28] legen die Ergebnisse dieser Studie nahe, weitere Studien bezüglich pulpanaher und subgingivaler glakeramischer Restaurationen speziell im Hinblick auf die in dieser Studie nicht untersuchten Ätz- und Adhäsivsysteme bzw. Befestigungsmaterialien durchzuführen.

Interessenkonflikt

Die Autoren erklären, dass kein Interessenkonflikt im Sinne der Richtlinien des International Committee of Medical Journal Editors besteht.

Literatur

1. Ababnaeh KT, Al-Omari M, Alawneh TN: The effect of dental restoration type and material on periodontal health. *Oral Health Prev Dent* 2011; 9: 395–403
2. Anusavice KJ: Degradability of dental ceramics. *Adv Dent Res* 1992; 6: 82–89
3. Behr M, Rosentritt M, Mangelkramer M, Handel G: The influence of different cements on the fracture resistance and marginal adaptation of all-ceramic and fiber-reinforced crowns. *Int J Prosthodont* 2003; 16: 538–542
4. Burke FJ: The effect of variations in bonding procedure on fracture resistance of dentin-bonded all-ceramic crowns. *Quintessence Int* 1995; 26: 293–300
5. Burke FJ, Lucarotti P: Ten-year outcome of crowns placed within the General Dental Services in England and Wales. *J Dent* 2009; 37:12–24
6. Dutra LDC, Barbos Neves ET, Morais de Lima LC et al.: Degree of family cohesion and social class are associated with the number of cavitated dental caries in adolescents. *Braz Oral Res* 2020; Apr 17;34:e037. doi: 10.1590/1807-3107bor-2020.vol34.0037. eCollection 2020.
7. Edelhoff D, Beuer F, Güth JF: Vollkeramische Präparation und Farbnahme. <https://www.zwp-online.info/fachgebiete/implantologie/grundlagen/vollkeramische-restauration-prepareation-und-farbnahme>, 2013 (letzter Zugriff am 26.07.2020)
8. El-Mowafy O; Brochu JF: Longevity and clinical performance of IPS-Empress ceramic restorations – a literature review. *J Can Dent Assoc* 2002; 68: 233–237
9. Esquivel-Upshaw J, William R, Oliveira E, Yang M, Clark AE, Anusavice K: Randomized, controlled clinical trial of bilayer ceramic and metal-ceramic crown performance. *J Prosthodont* 2012; 33: 166–173
10. Fradeani M, Redemagni M: An 11-year clinical evaluation of leucite-reinforced glass-ceramic crowns: a retrospective study. *Quintessence Int* 2002; 33: 503–510
11. Frankenberger R, Möring G, Blunck U, Hajtó J, Pröbster L, Ahlers O: Präparationsregeln für Keramikinlays und -teilkronen unter besonderer Berücksichtigung der CAD/CAM Technologie. *Bayrisches*

Zahnärzteblatt 2008; https://www.bzb-online.de/apr08/45_51.pdf (letzter Zugriff am 26.07.2020)

12. Frankenberger R, Taschner M, Garcia-Godoy F, Petschelt A, Krämer N: Leucite-reinforced glass ceramic inlays and onlays after 12 years. *J Adhes Dent* 2008; 10: 393–398

13. Gehrt M, Wolfart S, Rafai N, Reich S, Edelhoff D: Clinical results of lithium-disilicate crowns after up to 9 years of service. *Clin Oral Invest* 2013; 17: 275–284

14. Guess PC, Selz CF, Steinhart YN, Stampf S, Strub JR: Prospective clinical split-mouth study of pressed and CAD/CAM all-ceramic partial-coverage restorations: 7-year results. *Int J Prosthodont* 2013; 26: 21–25

15. Haller B: Die postoperative Hypersensibilität. *zm online* 2009; 6: 44–51

16. Krämer N, Lohbauer U, Frankenberger R: Adhesive luting of indirect restorations. *Am J Dent* 2000; 13: 60D–76D

17. Krämer N, Frankenberger R: Clinical performance of bonded leucite-reinforced glass ceramic inlays and onlays after eight years. *Dent Mater* 2005; 21: 262–271

18. Krämer N, Ebert J, Petschelt A, Frankenberger R: Ceramic inlays bonded with two adhesives after 4 years. *Dent Mater* 2006; 22: 13–21

19. Lohbauer U: Belastbarkeit von Keramiken – Ursachen für Frakturverluste. 2012; <https://www.zwp-online.info/fachgebiete/zahntechnik/werkstoffe/belastbarkeit-von-keramiken-ursachen-fuer-frakturverluste> (letzter Zugriff am 26.07.2020)

20. Ludovichetti FS, Trindade FZ, Abado GL, Pezzato L: Effect of grinding and polishing on the roughness and fracture resistance of cemented CAD-CAM monolithic materials submitted to mechanical aging. *J Prosthet Dent* 2019; 121: 866.e1–866.e8

21. Mackert JR: Side-effects of dental ceramics. *Adv Dent Res* 1992; 6: 90–93

22. Malament KA, Socaransky SS: Survival of Dicor glass-ceramic dental restorations over 20 years: Part IV. The effects of combinations of variables. *Int J Prosthodont* 2010; 23: 134–140

23. Malament K, Natto ZS, Thompson V, Rekow D, Eckert S, Weber HP: Ten-year survival of pressed, acid-etched e.max lithium disilicate monolithic and bilayered

complete-coverage restorations: Performance and outcomes as a function of tooth position an age. *J Prosthet Dent* 2019; 121: 782–790

24. Michellini FS, Belsler UC, Sherrer S, De Rijk WG: Tensile bond strength of gold and porcelain inlays to extracted teeth using three cements. *Int J Prosthodont* 1995; 8: 324–331

25. Mobilio N, Fasiol A, Mollica F, Catapano S: Effect of different luting agents on the retention of lithium disilicate ceramic crowns. *Materials (Basel, Switzerland)* 2015; 8: 1604–1611

26. Peutzfeld A, Sahafi A, Flury S: Bonding of restorative materials to dentin with various luting agents. *Oper Dent* 2011; 36: 266–273

27. Roulet JH: Seitenzahnversorgung mit adhäsiv befestigten Keramikinlays: Grundlagen, Herstellung und klinisches Vorgehen. Quintessenz Verlag, Berlin 1989

28. Schäfer R, Kappert HF: Die chemische Löslichkeit von Dentalkeramiken. *Dtsch Zahnärztl Z* 1993; 48: 625–628

29. Schmitter M, Lotze G, Bömicke W, Rues S: Influence of surface treatment on the in-vitro fracture resistance of zirconia-based all-ceramic anterior crowns. *Dent Mat* 2015; 31:1552–1560

30. Scientific Report IPS e.max, Ivoclar Vivadent 2013; 2: 9

31. Sjögren G, Lantto R, Granberg A, Sundström BO, Tillberg: A clinical examination of leucite-reinforced glass-ceramic crowns (Empress) in general practice: A retrospective study. *Int J Prosthodont* 1999; 12: 122–128

32. Solá-Ruiz MF et al.: Survival rates of a lithium disilicate-based core ceramic for three-unit esthetic fixed partial dentures: A 10-year prospective study. *Int J Prosthodont* 2013; 26: 175–180

33. Strub JRK, Türp JC, Witkowski S, Heydecke G, Wolfart S: Präparationstechnik – Werkstoffkundliche und konstruktionsbedingte Kriterien. *Curriculum Prothetik Band II*. Quintessenz Verlag, Berlin 2011; S. 452

34. Strub JRK, Türp JC, Witkowski S, Heydecke G, Wolfart S: Prinzipien bei Veneers und Teilkronen. *Curriculum Prothetik Band II*. Quintessenz Verlag Berlin 2011; S. 677

35. Strub JRK, Türp JC, Witkowski S, Heydecke G, Wolfart S: *Curriculum Prothetik Band II*. Quintessenz Verlag, Berlin 2011

36. Taskanak B, Sertgöz A: Two-year clinical evaluation of lithia-disilicate-based all-ceramic crowns and fixed partial dentures. *Dent Mat* 2006; 22: 1008–1013

37. Teichmann M, Göckler F, Weber V, Yildirim M, Wolfart S, Edelhoff D: Ten-year survival and complication rates of lithium-disilicate (Empress 2) tooth-supported crowns, implant-supported crowns, and fixed dental protheses. *J Dent* 2016; 56: 65–77

38. Valenti M, Valenti A: Retrospective survival analysis of 110 lithium disilicate crowns with feather-edge marginal preparation. *Int J Esthet Dent* 2015; 10: 246–257

39. Vagropoulou GI, Klifopoulou GL, Vlahou SG, Hirayama H, Michalakis K: Complications and survival rates of inlays and onlays vs. complete coverage restorations: A systematic review and analysis of studies. *J Oral Rehabil* 2018; 45: 903–920

40. Van den Breemer CR, Gresnigt MM, Cune MS: Cementation of glass ceramic posterior restorations: A systematic review. *Biomed Res Int* 2015; 2015: 148954. doi: 10.1155/2015/148954

41. Van den Breemer CR, Vinkenburg C, van Pelt H, Edelhoff D, Cune MS: The clinical performance of monolithic lithium disilicate posterior restorations after 5, 10 and 15 years: A retrospective case series. *Int J Prosthodont* 2017; 30: 62–65

42. Van Dijken JW, Hasselrot L: A prospective 15-year evaluation of extensive dentin-enamel-bonded pressed ceramic coverages. *Dent Mat* 2010; 26: 929–939



Foto: Kathinka Offer

KATHINKA OFFER

Zahnarztpraxis Dr. Michael Alte
Siegfeldstraße 10b, 53721 Siegburg
kathinka@dr-offer.de

Anuschka Josephine Roesner, Angelika Rauch, Michael Behr, Marcus Oliver Ahlers, Sebastian Hahnel

Vertikaler Zahnhartsubstanzverlust – eine narrative Übersichtsarbeit

Teil I: Epidemiologie und Diagnostik

Warum Sie diesen Beitrag lesen sollten

Im ersten Teil des vorliegenden Übersichtsartikels werden die Ursachen von nicht kariogenem, vertikalem Zahnhartsubstanzverlust beleuchtet und die diagnostischen Möglichkeiten dargestellt.

Einführung: Zahnhartsubstanzverlust ist in seiner Ätiologie die Summe kumulativer, multifaktorieller Geschehen, die in letzter Konsequenz dazu führen, dass Zahnhartsubstanz irreversibel verloren geht. Je nach Ausmaß und Progression des Zahnhartsubstanzverlustes kann dieser pathologisch sein, und es obliegt dem zahnärztlichen Behandler, in individueller Abstimmung mit dem betroffenen Patienten präventive oder therapeutische Maßnahmen einzuleiten.

Methoden: Im Rahmen der Literaturrecherche dieser narrativen Übersichtsarbeit wurden anhand themenbezogener Suchbegriffe verschiedene Studien evaluiert, die bis zum Februar 2020 bei PubMed sowie in der S3-Leitlinie Bruxismus erschienen sind, und zusätzlich wurde eine Handsuche in den jeweiligen Literaturverzeichnissen vorgenommen. Es wurden Normwerte für einen Zahnhartsubstanzverlust definiert und verschiedene Methoden zur Befunderhebung gegenübergestellt.

Ergebnisse: Eine fundierte Diagnose sowie ein regelmäßiges Monitoring sind obligate Behandlungsschritte für die Behandlung von Patienten mit Zahnhartsubstanzverlust. Hierfür stehen u.a. klinische Untersuchungen wie beispielsweise der „Tooth Wear Index“ oder das „Tooth Wear Evaluation System“ zur Verfügung; diese vermitteln, abhängig vom angewandten Index, den qualitativen und/oder quantitativen Verlust der Zahnhartsubstanz. In Abhängigkeit von der Schwere und dem Ausmaß des Zahnhartsubstanzverlustes muss abgewogen werden, ob konservative Therapiemaßnahmen wie Schutzschienen sowie Fluoridierung und ein regelmäßiges Monitoring oder eingreifende Therapiemaßnahmen in Form von definitiven Restaurationen nach vorausgegangener prärestaurativer Phase indiziert sind.

Schlussfolgerung: Es wurde ein systematischer Entscheidungsbaum für Diagnostik und Therapiekonzepte bei Patienten mit nicht kariogenem, vertikalem Zahnhartsubstanzverlust entwickelt, welcher auf Empfehlung der aktuellen Literatur basiert. Dieser soll Behandlern einen Leitfaden für die Diagnostik und Therapie von Patienten mit Zahnhartsubstanzverlust in der alltäglichen Praxis bieten.

Schlüsselwörter: Tooth Wear Evaluation System (TWES); TWES 2.0; Tooth Wear Index; Zahnhartsubstanzverlust

Universitätsklinikum Freiburg, Department für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde, Klinik für Zahnärztliche Prothetik, Medizinische Fakultät, Freiburg:

Dr. Anuschka Josephine Roesner

Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik und Werkstoffkunde, Universität Leipzig: Dr. Anuschka Josephine Roesner, PD Dr. Angelika Rauch M.Sc.; Prof. Dr. Sebastian Hahnel

Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik, Fakultät für Medizin, Universität Regensburg: PD Dr. Angelika Rauch M.Sc.; Prof. Dr. Michael Behr, Prof. Dr. Sebastian Hahnel,

Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik, Zentrum für Zahn- Mund- und Kieferheilkunde, Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf, sowie CMD-Centrum Hamburg-Eppendorf:

PD Dr. M. Oliver Ahlers

*Deutsche, überarbeitete Fassung der englischen Erstveröffentlichung von Roesner A, Rauch A, Behr M, Hahnel S: Vertical tooth surface loss – a narrative review. Part I: Epidemiology and diagnosis. Dtsch Zahnärztl Z Int 2021; 3: 148–157

Zitierweise: Roesner AJ, Rauch A, Behr M, Ahlers MO, Hahnel S: Vertikaler Zahnhartsubstanzverlust – eine narrative Übersichtsarbeit. Teil I: Epidemiologie und Diagnostik.

Dtsch Zahnärztl Z 2022; 77: 187–198

Peer-reviewed article: eingereicht: 09.03.2020, revidierte Fassung akzeptiert: 10.06.2020

DOI.org/10.53180/dzz.2022.0015

Vertical tooth surface loss – a narrative review

Part I: Epidemiology and diagnosis

Introduction: Tooth surface loss (TSL) is etiologically the sum of cumulative, multifactorial events, which ultimately lead to irreversible loss of tooth structure. Tooth surface loss can be pathological depending on its extent and progression and it can necessitate that the dentist initiates individualized preventive or therapeutic measures in cooperation with the affected patient.

Methods: A literature search for various studies published on PubMed and in the S3 guideline Bruxism up to February 2020 was conducted as part of this narrative review. The studies were evaluated based on topic-related search terms and also a manual search through their respective reference lists was performed. Standard values for TSL were defined and different methods for recording findings were compared.

Results: A sound diagnosis and regular monitoring are mandatory treatment steps for the dentist when treating patients with TSL. Clinical examinations including the “Tooth Wear Index” or the “Tooth Wear Evaluation System” are available for this purpose; these help convey, depending on the index applied, the qualitative and/or quantitative loss of tooth substance. Based on the severity and extent of TSL, thorough consideration is needed for determining if a conservative or an interventional treatment is indicated. Conservative measures include protective splints, fluoridation, and regular monitoring; interventional measures constitute definitive restorations after an initial pre-restorative phase.

Conclusion: A systematic decision tree for the diagnosis and therapy of patients with non-cariogenic, vertical TSL was developed based on the current recommendations found in literature. It is intended to provide dental practitioners with a guideline for the diagnosis and treatment of patients with TSL in their everyday practice.

Keywords: tooth surface loss (TSL); Tooth Wear Index; Tooth Wear Evaluation System (TWES); TWES 2.0

Einleitung

Die Ursachen für pathologischen Zahnhartsubstanzerlust (ZHV) sind vielfältig und reichen von kariösen Läsionen, Traumata, idiopathischen und genetischen Faktoren (z.B. Molaren-Inzisiven-Hypomineralisation (MIH) oder Amelogenesis imperfecta) bis hin zu Bruxismus. Erste veröffentlichte Untersuchungen zum Thema nicht kariogen bedingten ZHV erschienen bereits in den 70er Jahren des 20. Jahrhunderts [30, 40]. Zur Definition und verbesserten Beschreibung des Zahnhartsubstanzerlustes,

englisch „Tooth surface loss“ (TSL), wurden in der Fachliteratur die Begriffe Abrasion, Attrition, Erosion, Bruxismus und Demastikation eingeführt.

Mechanischer Verschleiß der Zahnhartsubstanz wird mithilfe der Termini Abrasion und Attrition beschrieben. Die **Attrition** entsteht durch eine physiologische Abnutzung der Zahnhartsubstanz als direkte Folge der Zahn-zu-Zahn-Kontakte [14, 23]. Besonders deutlich sind die Attritionsfacetten bei Patienten mit Bruxismus. Bruxismus ist definiert als

eine sich wiederholende Kaumuskelaktivität, die durch Knirschen oder Pressen auf den Zähnen und/oder durch Anspannung bzw. Pressen der Kiefer aufeinander gekennzeichnet ist. Bruxismus tritt in zwei unterschiedlichen Formen auf, dem Schlaf- und dem Wachbruxismus, welche in Kombination oder isoliert vorliegen können [31, 32]. Während Attrition die intrinsische mechanische Abnutzung beschreibt, hervorgerufen durch direkten funktionellen oder parafunktionellen Zahn-Antagonisten-Kontakt, steht die Abrasion für eine extrinsische, mechanische Abnutzung, die nicht mit der Funktion bzw. mit Parafunktionen des Kau-systems zusammenhängen, sondern durch Mundhygienemaßnahmen, wie übermäßigen Anpressdruck beim Zähne putzen, oder durch Habits, wie Fingernägel oder Stifte kauen, hervorgerufen werden [53]. Auch der Begriff **Abrasion** beschreibt zunächst in erster Linie einen physiologischen Prozess; bei pathologischer Abrasion handelt es sich hingegen um mechanische Abnutzung, die eine abnormale Abnutzung der Zahnhartsubstanz durch andere Ursachen als Kauprozesse umfasst. In der Literatur werden besonders häufig Schmelzdefekte beschrieben, die als durch Zahnbürsten und Interdentalraumbürsten hervorgerufen beschrieben werden [54] – sogenannte Bürstenabrasionen, die bei falsch ausgeführter Putztechnik entstehen. Weitere häufig aufgeführte Beispiele für Abrasionen werden hervorgerufen durch Halteelemente von Prothesen [22] oder durch Fremdkörper – beispielsweise das Tragen von Piercings im Mundraum oder Habits wie das Kauen auf Stiften [49].

Die **Demastikation** stellt eine Sonderform der Abrasion dar, bei der der Verschleiß durch in der Nahrung enthaltene abrasive Substanzen verursacht wird. Während die Demastikation in der heutigen Zeit an Bedeutung verloren hat, konnte bei der Untersuchung von 7000–8000 Jahre alten menschlichen Schädeln nachgewiesen werden, dass die Hauptursache für die starke Abnutzung der Zähne auf grobe, mit Sand und Kiesel versetzte Nahrung zurückzuführen war [51].

Die **Erosion** ist definiert als ein pathologischer, nicht kariogen bedingter Prozess der Zahnhartsubstanzzerstörung, der durch das Einwirken von Säuren ohne zwingende bakterielle Beteiligung bedingt wird [49]. Ätiologisch lassen sich exogene (extrinsische) und endogene (intrinsische) Faktoren voneinander unterscheiden. Zu den extrinsischen Faktoren zählen Erosionen, die etwa durch Ernährungsgewohnheiten, Umwelteinflüsse oder durch den jeweiligen Lebensstil (Kombination aus häufigem Verzehr von sauren Substanzen und exzessiven Mundhygienemaßnahmen) hervorgerufen werden. Darüber hinaus können Medikamente mit niedrigem pH-Wert direkt Erosionen verursachen oder diese indirekt durch Verringerung der Speichelsekretion bewirken. Erkrankungen, die Reflux oder chronisches Erbrechen herbeiführen, werden unter intrinsischen Faktoren für die Entstehung von Erosionen zusammengefasst. Dabei werden überwiegend Läsionen beobachtet, die ihren Ursprung an den oralen und okklusalen Zahnflächen haben [26].

Innerhalb eines Patientenfalls erscheint es meist wenig praktikabel, die verschiedenen Ursachen für nicht kariogen bedingten Zahnhartsubstanzverlust isoliert voneinander zu betrachten; damit muss dieser als multifaktoriell bedingtes Geschehen angenommen und die verschiedenen Subtypen müssen kumuliert werden. So begünstigt etwa das Vorhandensein von Erosionen die Entstehung von Abrasionen [49].

Vor dem Hintergrund einer immer älter werdenden Bevölkerung erhält die Problematik des nicht kariogen bedingten ZHV für den langfristigen Erhalt der natürlichen Bezahnung eine immer größere Bedeutung ein [41]. In Anbetracht dieser Tatsache gewinnt die Diagnostik und regelmäßige klinische Kontrolle des ZHV an Bedeutung. Für den zahnärztlichen Praxisalltag existieren allerdings bis dato wenige evidenzbasierte Richtlinien im Sinne eines systematischen Behandlungskonzepts, das als Leitfaden für Diagnostik und Therapie von Patienten mit ZHV herangezogen werden kann. Im Rahmen der Literaturrecherche dieser

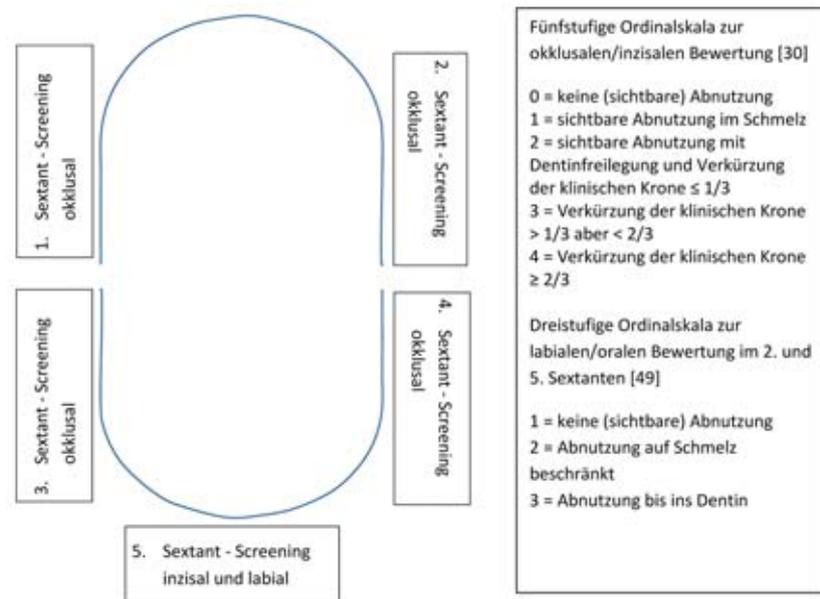


Abbildung 1 Quantifizierung-Screening im TWES; zusätzlich zu einer 5-stufigen Graduierung in jedem Sextanten werden im 2. und 5. Sextanten die labialen/oralen Fläche über ein dreistufiges System beurteilt. Für jeden Sextant wird dabei der höchste Wert notiert.

narrativen Übersichtsarbeit wurden anhand themenbezogener Suchbegriffe verschiedene Studien evaluiert, die bis zum Februar 2020 bei PubMed sowie in der S3-Leitlinie Bruxismus erschienen sind, und zusätzlich wurde eine Handsuche in den jeweiligen Literaturverzeichnissen vorgenommen. Die verwendeten Suchbegriffe waren: *tooth surface loss, (severe) tooth wear, (loss of) vertical dimension, tooth wear treatment options, prevalence of dental erosion, prevalence of dental abrasion, diagnosis and management of dental erosion, tooth wear index, tooth wear evaluation system*. Der erste Teil dieser narrativen Übersichtsarbeit soll daher die Epidemiologie, Klassifikation und Diagnostik von nicht kariogenem Zahnhartsubstanzverlust beschreiben; in einem zweiten Teil werden die verschiedenen Behandlungsoptionen skizziert sowie effektive und evidenzbasierte Therapiemöglichkeiten mit dem Fokus auf restaurative prothetische Maßnahmen vorgestellt.

Normwerte für nicht kariogenen Substanzverlust

Hinsichtlich der Prävalenz von nicht kariogen bedingten ZHV kommt die Literatur zu differenten Ergebnissen,

was insbesondere in der Heterogenität der Probandengruppen in Bezug auf Kollektivgröße, Alter und Ernährungsgewohnheiten begründet ist (Tab. 1).

So berichtete beispielsweise eine groß angelegte epidemiologische Studie, die mehr als 3100 junge europäische Erwachsene im Alter von 18–35 Jahren untersucht hat (3187 Patienten) über eine Prävalenz von nicht kariogenem ZHV bei rund 30 % der jungen Erwachsenen [7]. Eine systematische Übersichtsarbeit aus dem Jahr 2015 analysierte das Vorkommen von erosivem ZHV bei Kindern sowie jüngeren Erwachsenen im Alter von 8–19 Jahren und ermittelte eine Prävalenz von nicht kariogenem ZHV von 30 % [45]. Eine weitere große epidemiologische Studie mit 1125 niederländischen Erwachsenen untersuchte die Parameter Alter, Geschlecht, sozioökonomischer Status und den ZHV der betroffenen Zähne. Die Prävalenz von leichtem ZHV wurde mit 13 %, von moderatem mit 80 % und die von erheblichem ZHV mit 6 % beschrieben. Männer und Personen mit einem niedrigen sozioökonomischen Status wiesen dabei in Bezug auf den Schweregrad einen höheren ZHV auf als Frauen oder Per-

Autor	Kollektiv	Prävalenz
Abrasion		
Kitchin 1941 [27]	n = 200	20–29 J.: 58,0 % 30–39 J.: 84,0 % 40–49 J.: 96,0 % 50–59 J.: 94,0 %
Radentz et al. 1976 [42]	n = 80	17–45 J.: 50,0 %
Bergström und Lavstedt 1979 [9]	n = 818	18–25 J.: 15,9 % 26–35 J.: 37,6 % 36–45 J.: 41,1 % 46–55 J.: 40,3 % 55–65 J.: 40,8 %
Hand et al. 1986 [21]	n = 520	≥ 65 J.: 56,0 %
Bergström und Eliasson 1988 [8]	n = 250	21–60 J.: 85,0 % mind. 1 oberfl. Läsion 22,0 % mind. 1 tiefe Läsion
Akgül et al. 2003 [1]	N = 428	20–30 J.: 2,0 % 31–40 J.: 5,7 % 41–50 J.: 12,9 % ≥ 51 J.: 29,6 % Gesamt: 9,1 %
Erosion		
Nautsch und Klimm 1989 [38]	n = 300 (16–35 Jahre)	4,0 %
Klimm et al. 1991 [28]	n = 2499 (16–35 Jahre)	3,4 %
Jaeggi et al. 1999 [25]	n = 417 (19–25 Jahre)	82,0 % (okklusale Erosion Grad I)
Williams et al. (1999) [56]	n = 525 (14 Jahre)	labial: 17,0 % palatinal: 12,0 %
Deery et al. 2000 [12]	n = 129 (11–13 Jahre) (UK) n = 125 (11–13 Jahre) (US)	UK: 41,0 % US: 37,0 %
Ganss et al. 2001 [19]	n = 1000 (Ø 11,4 Jahre)	Milchzähne: 71,0 % Bleibende Zähne: 12,0 %
Al-Ma Jed et al. 2002 [2]	n = 354 (5–6 Jahre) n = 862 (12–14 Jahre)	5–6 J.: 34,0 % 12–14 J.: 26,0 %
Al-Malik et al. 2002 [3]	n = 987 (2–5 Jahre)	31,0 %
Schiffner et al. 2002 [47]	n = 655 (35–44 Jahre) n = 1027 (65–74 Jahre)	35–44 J.: 10,7 % 65–74 J.: 7,9 %
Arnadóttir et al. 2003 [4]	n = 278 (15 Jahre)	21,6 %
Dugmore und Rock 2004 [13]	n = 1753 (12 Jahre)	59,7 %
Caglar et al. 2005 [10]	n = 153 (11 Jahre)	28,0 %
Peres et al. 2005 [39]	n = 499 (12 Jahre)	13,0 %
Salas et al. 2017 [46]	n = 1210 (8–12 Jahre)	25,1 %
Truin et al. 2005 [50]	n = 832 (12 Jahre)	24,0 %
Wiegand et al. 2006 [55]	n = 463 (2–7 Jahre)	Bis zu 32,0 %

Tabelle 1 Studienergebnisse zur Prävalenz von Abrasionen und Erosionen

sonen mit einem höheren sozioökonomischen Status. Zudem zeigte sich, dass leichter bis moderater Zahnverschleiß häufig auftritt und seine Prävalenz mit dem Alter zunimmt [53].

ZHV ist bis zu einem gewissen Grad eine physiologische Altersbegleiterscheinung [6]. In vielen Studien ist der Substanzverlust bei Männern deutlicher ausgeprägt als bei Frauen beschrieben [24], andere Arbeitsgruppen stellten wiederum keine geschlechterspezifischen Unterschiede fest [43]. Wissenschaftliche Untersuchungen beschrieben die Verkürzung der Unterkiefer- und Oberkieferschneidezähne vom 10. Lebensjahr bis zum 70. Lebensjahr anhand von 1239 bleibenden Oberkiefer- sowie Unterkieferschneidezähne von 346 Patienten. Dabei stellten sie fest, dass der physiologische ZHV bei Unterkieferschneidezähnen durchschnittlich 0,024 mm pro Jahr und bei oberen Inzisiven 0,017 mm [43] beträgt. Weitere Studien definierten, dass der physiologische ZHV bei Prämolaren 0,015 mm und bei Molaren sogar 0,029 mm pro Jahr beträgt [29]. Darüber hinaus scheint der ZHV periodisch mit Phasen der Progression und Remission zu verlaufen [44]. Überschreitet der ZHV diese ermittelten Normwerte oder liegen in Abhängigkeit vom Alter des Patienten schwere ZHV vor, muss dies vom Behandler rechtzeitig diagnostiziert werden, um eine patientengerechte und zielorientierte Therapie einleiten zu können.

Anhand der in Tabelle 1 aufgelisteten Studien wird deutlich, dass nicht kariogener ZHV abhängig von genetischen Prädispositionen, Konsumgewohnheiten sowie Verhaltensmustern bereits in jeder Altersdekade diagnostiziert werden kann.

Klinische Leitbilder

Pathologischer ZHV kann verstärkte Sensibilitäten an den Zähnen bewirken, das ästhetische Erscheinungsbild beeinträchtigen oder funktionelle Probleme hervorrufen [34]. Um entscheiden zu können, wann der ZHV therapiert werden muss, ist es notwendig, diesen mit standardisierten Kriterien zu beurteilen, wofür das Patientenalter, der Grad des ZHVs und der Verlauf des ZHVs (episodisch oder



Abb. 2–4: S. Hahnel

Abbildung 2–4 Patientenfall: Der Patient wurde zu Beginn der Behandlung anhand des TWES beurteilt. Für den Oberkiefer wurde ein Wert von 4 für alle 3 Sextanten (2. Sextant palatinal 3) ermittelt, im Unterkiefer lag ein TWES von 3 (4. und 6. Sextant) sowie von 2 für den 5. Sextanten vor.

progressiv) eine wesentliche Rolle spielen können. Besonders bei älteren Patienten ist ein erhöhter ZHV durchaus physiologisch, wobei durch den schleichenden Prozess die ver-

tikale Dimension unverändert sein kann (These nach Dawson [11]). Eine Wiederherstellung des vermeintlichen Verlusts der vertikalen Kieferrelation, um beispielsweise das ästhe-

Grad	Zahnfläche	Kriterien
0	B/L/O/I	keine Schliffacetten in der Schmelzoberfläche
	C	keine Veränderung der Zahnform
1	B/L/O/I	Schliffacetten in der Schmelzoberfläche
	C	minimaler Verlust der Zahnform
2	B/L/O	Verlust von Schmelz mit Dentinfreilegung < 1/3 der Zahnoberfläche
	I	Verlust von Schmelz mit beginnender Dentinfreilegung
	C	Defekt ist weniger als 1 mm tief
3	B/L/O	Verlust von Schmelz mit Dentinfreilegung > 1/3 der Zahnoberfläche
	I	Substanzverlust von Schmelz und Dentin, ohne Sekundärdentinbildung oder Pulpafreilegung
	C	Defekt ist 1–2 mm tief
4	B/L/O	vollständiger Verlust der Schmelzoberfläche oder Sekundärdentinbildung oder Pulpaeröffnung
	I	Sekundärdentinbildung oder Pulpaeröffnung
	C	Defekt tiefer als 2 mm oder Sekundärdentinbildung oder Pulpaeröffnung

Tabelle 2 Tooth Wear Index von Smith und Knight [48]; bei der Beschreibung der Zahnflächen steht „B“ für „bukale“, „L“ für „labiale“, „O“ für „okklusale“, „I“ für „inzisale“ und „C“ für „cervikale“ Flächen

tische Erscheinungsbild des Patienten zu verändern, kann dabei eine Überkompensation darstellen und potentiell parafunktionelle Aktivitäten oder funktionelle Beschwerden triggern [36].

Dennoch kann bei pathologischen Veränderungen eine zahnmedizinische Therapie indiziert sein. So bedingt besonders ZHV, der mit einem erheblichen Verlust ($\geq 1/3$) der klinischen Krone und Dentin-Exposition einhergeht, häufig die Indikation zur therapeutischen Intervention [34].

Bei einer schnellen Progression können klinisch eine stark reduzierte Restzahnhartsubstanz oder eine vertikal massiv verkürzte Zahnkrone sichtbar werden und als klinisches Symptom verstärkt Sensibilitäten an den betreffenden Zähnen auftreten, beispielsweise durch die Exposition von Dentin mit Pulpabeteiligung. Eine vertikal massiv verkürzte Zahnkrone kann mit einem okklusalen Platzmangel korrelieren, der wiederum die therapeutischen Möglichkeiten limitiert. Nach Erfahrung der Autoren

kann sich eine verringerte vertikale Dimension als Beeinträchtigung der Kau-effizienz, als negativer Verlauf der Lachlinie oder auch als erhöhter Interokklusallabstand darstellen. Aus diesen Gründen kann angenommen werden, dass die rekonstruktiven Maßnahmen zur Wiederherstellung von Funktion, Phonetik und Ästhetik umso umfangreicher werden, je später therapeutisch interveniert wird [35].

Diagnostik

Die zahnärztliche Betreuung und Therapie von Patienten mit nicht-kariogen bedingtem ZHV ist mitunter langwierig und anspruchsvoll, wobei ein strukturiertes Vorgehen die klinische Entscheidungsfindung und Behandlung erleichtert. Dabei sollte der ZHV und – nach Möglichkeit – auch der entsprechende Subtyp diagnostiziert werden [52]. Daran anschließend ist die Analyse des Ausmaßes sinnvoll [52]. Dafür stehen sowohl klinische Untersuchungen als auch Labortechniken wie beispielsweise das Überlagern von digi-

talen Aufnahmen zur Verfügung [33].

Indizes vermitteln den quantitativen Verlust der Zahnhartsubstanz und erleichtern es dem Behandler, den Verlauf des ZHV zu dokumentieren. Dabei stellt der „Tooth Wear Index“ (TWI) von Smith und Knight (Tab. 2) den wissenschaftlich am häufigsten angewendeten und am besten evaluierten Index für ZHV dar [35]. Der TWI eignet sich sowohl zur Beurteilung der Schwere des ZHV [48] als auch für regelmäßige Verlaufskontrollen. Er differenziert 4 Grade in Abhängigkeit vom Ausmaß des ZHV. Der ZHV wird in Orientierung an den anatomischen Strukturen für jede Zahnfläche gesondert erfasst. Eine Aussage zur Ätiologie der Abnutzung lässt sich mit diesem Index jedoch nicht treffen.

Vor einigen Jahren stellten Bartlett et al. einen alternativen Index vor [5]. Bei der „Basic Erosive Wear Examination“ (BEWE) wird der prozentuale ZHV zahnbezogen und sex-tantenweise ermittelt und je nach Ausmaß unterschiedlich bewertet

Score je Sextant	Bedeutung	
0	Kein ZHV	
1	Initialer ZHV	
2	Substanzverlust < 50 %	
3	Substanzverlust ≥ 50 %	
Risikobeurteilung	Gesamtpunktzahl (Summe der Scores)	Therapie
Kein Risiko	≤ 2	– Regelmäßige Kontrolle und Nachsorge
Geringes Risiko	3–8	– Motivation und Instruktion einer korrekten Mundhygiene und Ernährungsberatung – Engmaschige Kontrolle und Nachsorge und regelmäßige Befundkontrolle (alle 2 Jahre)
Mittleres Risiko	9–13	– Mundhygieneinstruktion sowie -remotivation und Ernährungsberatung – Strategien entwickeln, um die jeweiligen Ursachen zu beseitigen – Fluoridierungsmaßnahmen oder andere Strategien, um den Widerstand der Zahnoberflächen zu erhöhen – Regelmäßige Kontrolle des Verschleiß durch Gipsabdrücke, Fotos oder Silikonabformungen – Wiederholung in Abständen von 6 bis 12 Monaten
Hohes Risiko	≥ 14	– Mundhygieneinstruktion sowie -remotivation und Ernährungsberatung – Strategien entwickeln, um die jeweiligen Ursachen zu beseitigen – Fluoridierungsmaßnahmen oder andere Strategien, um den Widerstand der Zahnoberflächen zu erhöhen – Regelmäßige Kontrolle des Verschleiß durch Gipsabdrücke, Fotos oder Silikonabformungen – Wiederholung in Abständen von 6 bis 12 Monaten – Restaurationen können erforderlich werden

Tabelle 3 Basic Erosive Wear Examination [5]

(Tab. 3), wobei immer der schwerste Befund je Sextant dokumentiert wird. Durch das Zusammenzählen der Punkte pro Sextant ergeben sich die Gesamtpunktzahl und mögliche Therapieoptionen [5].

In der aktuellen, von der Deutschen Gesellschaft für Funktionsdiagnostik und -therapie (DGFD) und der Deutschen Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde (DGZMK) koordinierten S3-Leitlinie zum Thema Bruxismus wird das ZahnAbnutzungsbewertungssystem (ZABS, im Englischen „Tooth Wear Evaluation System“ = TWES) beschrieben, das eine Qualifizierung (Tab. 4) und Quantifizierung (Abb. 1–4) des ZHV ermöglicht. So kann ZHV mithilfe des TWES erkannt (Qualifizierung), der Schweregrad bewertet (Quantifizierung), die wahr-

scheinlichen Ursachen diagnostiziert und der Zustand sowie eine mögliche Progression überwacht werden. Der Grad des ZHV bestimmt die anschließende Therapie, wobei Wetselaar und Lobbezoo zwischen Diagnostikmodulen für allgemein tätige Zahnärzte und für Spezialisten differenzieren (Tab. 4) [52].

Die Risikobewertung bildet dabei einen wichtigen Aspekt einer evidenzbasierten und patientenorientierten Entscheidungsfindung. Bei Patienten mit schwerem ZHV sollten konservative Behandlungsmethoden wie präventive Maßnahmen und regelmäßige Nachsorgen gegenüber dem Risiko von weiterem Substanzverlust oder einem etwaigen Versagen von eingegliederten Restaurationen fundiert abgewogen werden.

Dazu sollten neben dem über einen Index quantifizierten Umfang des ZHV weitere Parameter in die Entscheidungsfindung einfließen, ob überhaupt eine Behandlung und, wenn ja, ob eine prothetische Restauration indiziert ist. Dazu zählen auch die Wünsche und Motivation seitens des Patienten. Im Rahmen der klinischen Behandlung stellten die Autoren gehäuft fest, dass Patienten mit ZHV eine restaurative Therapie wünschen, wenn Überempfindlichkeiten, Schmerzen beim Trinken und Essen sowie ästhetische Einbußen auftreten. Nicht selten trainieren sich die betroffenen Patienten im Laufe der Zeit eine Schonhaltung bei der Nahrungsaufnahme an. Es gilt abzuwägen, ob die erhöhte Sensibilität auf den Verlust von Zahnhartsubstanz zurückzuführen oder durch kariogene

Klinische Zeichen für Erosion	
Nach Gandara und Truelove [17]	Nach Ganß und Lussi [18, 20]
<ul style="list-style-type: none"> – Okklusale „Kelch-“, inzisale „Furchen-“ und „Krater-“Bildung – Abnutzung nicht okkludierender Flächen – Angehobene Restaurationen – Breite Vertiefungen in glattem Oberflächenschmelz – Erhöhte inzisale Transluzenz – Blankes, nicht angelaufenes Erscheinungsbild von Amalgamfüllungen – Persistieren eines Schmelzkragens im Sulcus gingivalis – Überempfindlichkeit 	<ul style="list-style-type: none"> – Abrundung von Höckern und Fissuren – Angehobene Restaurationen – Abflachung von Erhebungen, Bildung von Vertiefungen mit größerer Breite als Tiefe – Persistieren eines Schmelzkragens im Sulcus gingivalis – Keine Plaque, Verfärbungen oder Konkremente – Glattes, seidig-schimmerndes bzw. seidig-glänzendes Erscheinungsbild, mitunter stumpfe Oberfläche
Klinische Zeichen für Attrition	
<ul style="list-style-type: none"> – Glänzende Facetten – Schmelz und Dentin nutzen sich im selben Grad ab – Übereinstimmende Abnutzung an okkludierenden Flächen – Mögliche Frakturen von Höckern und Restaurationen 	<ul style="list-style-type: none"> – Flach, spiegelglatt – Korrespondierende Merkmale an Gegenzähnen
Abdrücke in Wange, Zunge oder Lippen*	
Klinische Zeichen für Abrasion	
<ul style="list-style-type: none"> – Normalerweise im Zahnhalsbereich lokalisiert – Läsionen eher breit als tief – Meist Prämolaren und Eckzähne betroffen 	
* Zusätzliches Merkmal laut Wetselaar und Lobbezoo	

Tabelle 4 Mithilfe des Moduls Qualifizierung im TWES wird es dem Behandler möglich, das Problem des Zahnhartsubstanzerlusts als solches zu erkennen [52].

oder parodontale Defekte bedingt ist. Zudem sollten die Progression, das Patientenalter und die Ätiologie des ZHV in den Therapieentscheidungsprozess mit einfließen.

Auf der Grundlage aktueller wissenschaftlicher Studien haben die Autoren der vorliegenden Arbeit einen Entscheidungsbaum entwickelt, der Behandlern eine Leitstruktur zur differenzierten Entscheidungsfindung bei Patienten mit ZHV an die Hand gibt (Abb. 5). Wichtig erscheint uns anzumerken, dass nicht immer eine restaurative Therapie indiziert ist. Gerade bei Patienten mit nicht kariogen bedingtem ZHV kommt der Prävention und Nachsorge ein enormer Stellenwert zu. Im Vorfeld einer invasiven Therapie sollte immer versucht werden, die Ursache für den ZHV zu identifizieren, um diesem entgegenzuwirken. Bei Patientenfällen mit restaurativem Therapiebedarf stehen verschiedenste Therapieoptionen und Materialien zur Verfügung, welche im zweiten Teil dieses Beitrags

näher beleuchtet werden sollen [15, 16, 37].

TWES 2.0

Kurz nach Ende des Recherchezeitraums für diesen Übersichtsartikel publizierte die Autorengruppe Wetselaar, Wetselaar-Glas, Katzer und Ahlers eine überarbeitete Version des Tooth Wear Evaluation System (TWES 2.0) [57], deren wesentliche Modifikationen nachfolgend dargestellt werden sollen.

Stufe 1 – Zahnverschleiß-Screening (Tooth Wear Screening)

In der ersten Stufe des diagnostischen Prozesses steht nach wie vor das Zahnverschleiß-Screening (Tooth Wear Screening). Das Ziel dieses Screenings ist es, Patienten mit erhöhtem Zahnverschleiß schnell und unkompliziert zu identifizieren. Das Zahnverschleiß-Screening ist so einfach konzipiert, dass dafür lediglich ein Mundspiegel notwendig ist. Im Rahmen der Dokumentation wird für

jeden Sextanten der höchste von fünf Schweregraden eingetragen. Dieser ergibt sich aus der Beurteilung der Okklusalfächen und im 2. Sextanten zusätzlich aus der Inspektion der Palatinalflächen (Tab. 6).

Zur Erfassung des Verschleißgrades von Zahnhartsubstanz werden im TWES 2.0 nunmehr 5-stufige Ordinalskalen verwendet (Tab. 7, 8). Wurde im ursprünglichen TWES nur natürliche Zahnhartsubstanz hinsichtlich ihres Verschleißes überprüft, wird mit der Einführung des TWES 2.0 auch der Verschleiß an direkten und indirekten Restaurationen bewertet. Ein Summenwert wird nicht gebildet. Der so erfasste Grad des Verschleißes führt schließlich zur Ermittlung des Schweregrads. Der höchste Grad pro Sextant bestimmt die Gesamtbewertung.

- Grad 0 = kein Zahnverschleiß
- Grad 1 = leichter Zahnverschleiß
- Grad 2 = mäßiger Zahnverschleiß
- Grad 3 = erheblicher Zahnverschleiß
- Grad 4 = extremer Zahnverschleiß

Im Gegensatz zu dem TWES 1.0 sind zusätzliche Informationen zur medizinischen und zahnmedizinischen Anamnese sowie zur Beurteilung einzelner morphologischer Merkmale der erweiterten Diagnostik (Stufe 2) vorbehalten (siehe unten). Damit wird das Zahnverschleiß-Screening für den Praxisalltag überschaubar gehalten und der Zeit- und Arbeitsaufwand begrenzt.

Liefert das Zahnverschleiß-Screening Anhaltspunkte für einen erhöhten ZHV, wird eine ausführlichere Untersuchung (Stufe 2) – der Zahnverschleiß-Status – notwendig. Letzterer kann erhoben werden, wenn das Zahnverschleiß-Screening einen mäßigen Zahnverschleiß (Grad 2 in einem Sextanten) ergeben hat; der Zahnverschleiß-Status sollte erhoben werden, wenn ein erheblicher oder extremer Zahnverschleiß (Grade 3 und 4) festgestellt wurde. Wenn nach kurzer visueller Inspektion ein starker ZHV vorliegt oder wenn die Anamnese (oder spezielle Fragebogen) Indizien für einen pathologischen ZHV ergeben, empfiehlt das TWES 2.0, ohne vorheriges Zahnverschleiß-Screening direkt den Zahnverschleiß-Status zu erheben (Stufe 1 – Tooth Wear Screening kann übersprungen werden).

Stufe 2 – Zahnverschleißstatus (Tooth Wear Status)

Nach dem Stufenkonzept wird in der 2. Diagnosestufe eine detailliertere und damit komplexere Untersuchung durchgeführt. Beim Zahnverschleiß-Status (Tooth Wear Status) ist der höchste Grad pro Zahn für die Beurteilung des ZHV relevant. Dabei werden alle Zahnflächen jedes Zahns (okklusal/inzisal, vestibulär und oral) untersucht, gemäß der 5-stufigen Ordinalskala bewertet und die einzelnen Werte in eine tabellenartige Grafik eingetragen. Der Zahnverschleiß-Status inkludiert auch potenziell vorliegende klinische Zeichen. Im TWES 2.0 werden zwei weitere – i.e. Schmelzsprünge und Torus mandibulae – und somit insgesamt 20 klinische Zeichen bewertet. Diese werden allerdings im TWES 2.0 nur noch in 2 Kategorien unterteilt, die den chemischen und den mechanische Zahnverschleiß unterscheiden.

Diagnosemodule – Basisdiagnostik für Allgemeinzahnärzte
Modul Qualifizierung Modul Quantifizierung Modul Quantifizierung – klinische Kronenlänge Modul Dokumentation der Zahnabnutzung (Fotografien, Gipsmodelle)
Diagnosemodule – Erweiterte Diagnostik für Spezialisten
Modul Quantifizierung – detailliert: okklusal/inzisal und nicht okklusal/nicht inzisal Modul zahnärztliche Anamnese, Fragebogen Modul Speichelanalyse
Behandlungsmodule
Modul Beschwerden des Patienten vs. Gründe des Zahnarztes für einen Behandlungsbeginn Modul Beginn der Behandlung Modul Schwierigkeitsgrad

Tabelle 5 ZahnAbnutzungsBewertungsSystem (ZABS)/Tooth Wear Evaluation System (TWES) [52]; mit dem TWES ist es möglich, Zahnhartsubstanzerlust zu erkennen (Qualifizierung) und seinen Schweregrad zu bewerten (Quantifizierung). Darüber hinaus können mögliche Ursachen diagnostiziert und eine mögliche Progression kann dokumentiert werden.

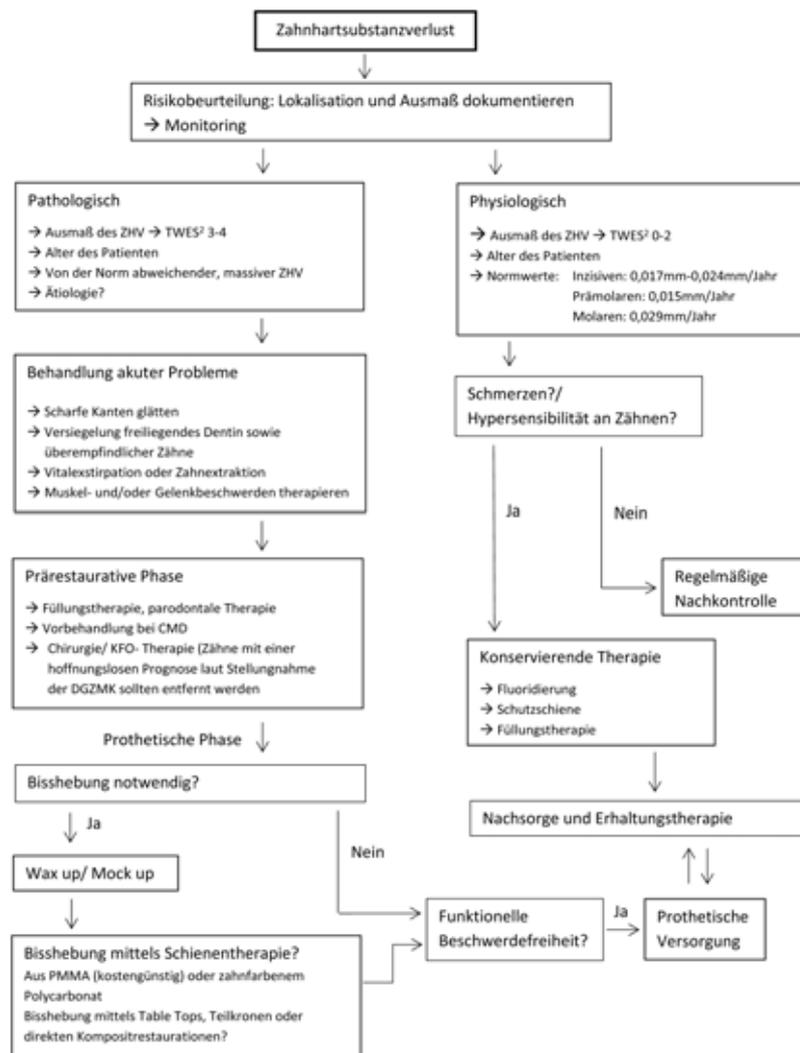


Abbildung 5 Entscheidungsbaum für etwaige Therapieoptionen bei Patienten mit Zahnhartsubstanzerlust

² Einstufung mittels Tooth Wear Evaluation System 2.0

Diagnose und Behandlungsplanung

Mithilfe der gestellten Befunde kann eine detaillierte Diagnose sowie eine zielführende Behandlungsplanung erfolgen. Zunächst sollte der Umfang des ZHV benannt werden (generalisiert oder lokalisiert). Diese Information wird mit dem vorherrschenden Schweregrad des ZHV (leicht/mittel/erheblich/extrem) kombiniert. Eine neue Fragestellung im TWES 2.0 ist, ob der beobachtete ZHV pathologisch ist. Diese Erweiterung ergibt sich aus einem Konsensuspapier, das Verschleißgrad für die Bewertung entscheidend ist, ob der Zahnverschleiß individuell pathologische Folgen hatte und hat [34]. Das neue TWES 2.0 integriert diese Fragestellung strukturiert in den diagnostischen Prozess. Entsprechend den Ergebnissen jenes Konsensus sieht die neue Taxonomie vor, dass pathologischer Zahnverschleiß vorliegt, wenn ein mäßiger, erheblicher oder extremer Zahnverschleiß mit mindestens einem von 10 typischen Pathologie-Symptomen [57] kombiniert ist. Diese Pathologie-Symptome sind:

- Überempfindlichkeit oder Schmerzen
- funktionelle Schwierigkeiten beim Kauen
- Abbröckeln der Zähne/ Restaurationen
- Ästhetik beeinträchtigt durch Zahnverschleiß
- Phonetik beeinträchtigt durch Zahnverschleiß
- Verlust der vertikalen Dimension der Okklusion
- schnelle Progression des Zahnverschleißes
- nicht altersgerechter Zahnverschleiß
- Speichelzusammensetzung ungünstig
- nicht beeinflussbare ätiologische Faktoren

Schließlich wird auch die Bewertung der Ätiologie in die Diagnose einbezogen. So wird bei der Diagnosestellung angegeben, ob der ZHV hauptsächlich oder nur teilweise auf chemische und/oder auf mechanische Noxen zurückzuführen ist. Als mögliche Therapiekonzepte stehen 2 Optionen zur Verfügung:

1. Sextant	2. Sextant	3. Sextant
okklusal	okklusal	okklusal
	palatal	
6. Sextant	5. Sextant	4. Sextant
okklusal	okklusal	okklusal

Tabelle 6 Screening beim TWES 2.0

Grad	Bedeutung
0	kein (sichtbarer) Verschleiß
1	sichtbarer Verschleiß innerhalb des Schmelzes
2	sichtbarer Verschleiß mit Dentinfreilegung und Verlust der klinischen Kronenhöhe $\leq 1/3$
3	Verlust der klinischen Kronenhöhe $> 1/3$ aber $< 2/3$
4	Verlust der klinischen Kronenhöhe $\geq 2/3$

Tabelle 7 Fünfstufige Skala für die okklusale und inzisale Beurteilung

Grad	Bedeutung
0	kein (sichtbarer) Verschleiß
1	sichtbarer Verschleiß innerhalb des Schmelzes
2	Verschleiß mit Dentinfreilegung (weniger als 50 % der Fläche)
3	Verschleiß mit Dentinfreilegung (50 % oder mehr der Fläche)
4	Verschleiß mit freiliegendem Dentin (vollständiger Verlust des Zahnschmelzes oder Freilegung der Pulpa)

Tabelle 8 Fünfstufige Skala zur Beurteilung von nicht okklusalen und nicht inzisalen (= oralen und vestibulären) Zahnflächen

- Zum einen können beobachtende/präventive Maßnahmen vorgenommen werden, um die Progression zu hemmen oder zu stoppen.
- Sofern die Schwere des ZHV und die Pathogenität eine restaurative Intervention erfordern, kann diese noninvasiv mit direkten Restaurationen erfolgen. Zur Therapie ausgedehnter Defekte stehen alternativ indirekte restaurative Intervention zur Verfügung, wobei mini-

malinvasive Restaurationen den Verzug erhalten sollten.

Ziele des überarbeiteten TWES 2.0 sind das rechtzeitige Erkennen von verstärktem ZHV, die Unterscheidung der Verschleißursachen und die Abgrenzung pathologischer Verläufe. Dabei zielt die Struktur des Vorgehens auf eine gute Praktikabilität im Praxisalltag ab, um durch rechtzeitige Erkennung entsprechend auffälliger Patienten weitere Progressionen zu verhindern und dadurch um-

fangreichere restaurative Interventionen möglichst zu vermeiden. Die für das TWES 2.0 neu entwickelte Taxonomie zeigt dabei eine akzeptable Reliabilität sogar bei unerfahrenen Untersuchern [58].

Abrechnung

Die Erhebung des TWES 2.0 wird nicht in der „eingehenden Untersuchung“ der BEMA-/GOZ-Positionen berücksichtigt. Der Arbeitsausschuss Gebührenrecht der Bundeszahnärztekammer hat dies bestätigt und festgestellt, dass es sich sowohl beim Zahnverschleiß-Screening als auch beim umfangreichen Zahnverschleiß-Status um eine eigenständige Leistung auf wissenschaftlicher Grundlage handelt. Es wird vorgeschlagen, die Abrechnung über das Analogieverfahren nach §6, Absatz 1 GOZ vorzunehmen und eine nach Art, Zeitaufwand und Schwierigkeit vergleichbare Entsprechungsleistung abzurechnen.

Zusammenfassung

Zahnhartsubstanzverlust ist ein per se physiologischer Prozess, der in seiner Ätiologie die Summe kumulativer, multifaktorieller Geschehen darstellt, die in letzter Konsequenz dazu führen, dass Zahnhartsubstanz irreversibel verloren geht. Ursächlich für die Entstehung sind neben exogenen auch endogene Faktoren, die sich in unterschiedlich starker Ausprägung manifestieren können. Dabei sind wichtige Parameter das Patientenalter, die Schmelzdicke, Schmelzhärte, Speichelfließrate und Speichelzusammensetzung, der pH-Wert der Mundhöhle sowie Zahnfehlstellungen. Für eine Risiko- beurteilung wurden im Lauf der Zeit verschiedene Indizes entwickelt. Bei der Entscheidung, ob eine prothetische Therapie erfolgen soll, müssen verschiedene Faktoren wie das Ausmaß des Zahnhartsubstanzverlusts in Bezug auf das Patientenalter berücksichtigt werden. Der von den Autoren entwickelte Entscheidungsbaum soll helfen, eine systematische Einschätzung von Zahnhartsubstanzverlust bei Patienten umzusetzen und mögliche Therapieoptionen aufzuzeigen.

Interessenkonflikt

Die Autorinnen und Autoren erklären, dass kein Interessenkonflikt im Sinne der Richtlinien des International Committee of Medical Journal Editors besteht.

Literatur

1. Akgül HM, Akgül N, Karaoglanoglu S, Ozdabak N: A survey of the correspondence between abrasions and tooth brushing habits in Erzurum, Turkey. *Int Dent J* 2003; 53: 491–495
2. Al-Majed I, Maguire A, Murray JJ: Risk factors for dental erosion in 5–6 year old and 12–14 year old boys in Saudi Arabia. *Community Dent Oral Epidemiol* 2002; 30: 38–46
3. Al-Malik MI, Holt RD, Bedi R: Erosion, caries and rampant caries in preschool children in Jeddah, Saudi Arabia. *Community Dent Oral Epidemiol* 2002; 30: 16–23
4. Arnadóttir IB, Saemundsson SR, Holbrook WP: Dental erosion in Icelandic teenagers in relation to dietary and lifestyle factors. *Acta Odontol Scand* 2003; 61: 25–28
5. Bartlett D: A proposed system for screening tooth wear. *Br Dent J* 2010; 208: 207–209
6. Bartlett D, Dugmore C: Pathological or physiological erosion – is there a relationship to age? *Clin Oral Investig* 2008; 12 (Suppl 1): 31
7. Bartlett DW, Lussi A, West NX, Bouchard P, Sanz M, Bourgeois D: Prevalence of tooth wear on buccal and lingual surfaces and possible risk factors in young European adults. *Journal of Dentistry* 2013; 41: 1007–1013
8. Bergström J, Eliasson S: Cervical abrasion in relation to toothbrushing and periodontal health. *Scand J Dent Res* 1988; 96: 405–411
9. Bergström J, Lavstedt S: An epidemiologic approach to toothbrushing and dental abrasion. *Community Dent Oral Epidemiol* 1979; 7: 57–64
10. Caglar E, Kargul B, Tanboga I, Lussi A: Dental erosion among children in an Istanbul public school. *J Dent Child (Chic)* 2005; 72: 5–9
11. Dawson PE: Functional occlusion. From TMJ to smile design. Mosby, St. Louis, Mo. op. 2007
12. Deery C, Wagner ML, Longbottom C, Simon R, Nugent ZJ: The prevalence of dental erosion in a United States and a

United Kingdom sample of adolescents. *Pediatr Dent* 2000; 22: 505–510

13. Dugmore CR, Rock WP: The prevalence of tooth erosion in 12-year-old children. *Br Dent J* 2004; 196: 279
14. Eccles JD: Tooth surface loss from abrasion, attrition and erosion. *Dent Update* 1982; 9: 373–374, 376–378, 380–381
15. Edelhoff D, Ahlers MO: Occlusal onlays as a modern treatment concept for the reconstruction of severely worn occlusal surfaces. *Quintessence Int* 2018; 49: 521–533
16. Edelhoff D, Schweiger J, Prandtner O, Trimpl J, Stimmelmayer M, Güth J-F: CAD/CAM splints for the functional and esthetic evaluation of newly defined occlusal dimensions. *Quintessence Int* 2017; 48: 181–191
17. Gandara BK, Truelove EL: Diagnosis and management of dental erosion. *J Contemp Dent Pract* 1999; 1: 16–23
18. Ganss C, Klimek J, Borkowski N: Characteristics of tooth wear in relation to different nutritional patterns including contemporary and medieval subjects. *Eur J Oral Sci* 2002; 110: 54–60
19. Ganss C, Klimek J, Giese K: Dental erosion in children and adolescents – a cross-sectional and longitudinal investigation using study models. *Community Dent Oral Epidemiol* 2001; 29: 264–271
20. Ganss C, Lussi A: Current erosion indices – flawed or valid? *Clin Oral Investig* 2008; 12 (Suppl 1): S1–3
21. Hand JS, Hunt RJ, Reinhardt JW: The prevalence and treatment implications of cervical abrasion in the elderly. *Gerodontology* 1986; 2: 167–170
22. Hebel KS, Graser GN, Featherstone JDB: Abrasion of enamel and composite resin by removable partial denture clasps. *J Prosthet Dent* 1984; 52: 389–397
23. Imfeld T: Dental erosion. Definition, classification and links. *Eur J Oral Sci* 1996; 104: 151–155
24. Jaeggi T, Lussi A: Prevalence, incidence and distribution of erosion. *Monogr Oral Sci* 2014; 25: 55–73
25. Jaeggi T, Schaffner M, Bürgin W, Lussi A: Erosionen und keilförmige Defekte bei Rekruten der Schweizer Armee. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 1999; 109: 1170–1182
26. Kanzow P, Wegehaupt FJ, Attin T, Wiegand A: Etiology and pathogenesis of dental erosion. *Quintessence Int* 2016; 47: 275–278
27. Kitchin PC: Cervical exposure and abrasion in human teeth for different age classes. *Science* 1941; 94: 65–66
28. Klimm W, Natusch I, Schreger E, Gorejewa R, Hamann V, Neugebauer A: Orale

- Gesundheit einer ostdeutschen Großstadtpopulation. Basisuntersuchungen der Dresdener Präventionsstudie an 2500 16- bis 35-Jährigen. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 1991; 101: 1109–1118
29. Lambrechts P, Braem M, Vuylsteke-Wauters M, Vanherle G: Quantitative in vivo wear of human enamel. *J Dent Res* 1989; 68: 1752–1754
30. Lewis KJ, Smith BG: The relationship of erosion and attrition in extensive tooth tissue loss. Case reports. *Br Dent J* 1973; 135: 400–404
31. Lobbezoo F, Ahlberg J, Glaros AG et al.: Bruxism defined and graded: an international consensus. *J Oral Rehabil* 2013; 40: 2–4
32. Lobbezoo F, Ahlberg J, Raphael KG et al.: International consensus on the assessment of bruxism: Report of a work in progress. *J Oral Rehabil* 2018; 45: 837–844
33. Lohbauer U, Reich S: Antagonist wear of monolithic zirconia crowns after 2 years. *Clin Oral Investig* 2017; 21: 1165–1172
34. Loomans B, Opdam N, Attin T et al.: Severe tooth wear: European consensus statement on management guidelines. *J Adhes Dent* 2017; 19: 111–119
35. Mehta SB, Banerji S, Millar BJ, Suarez-Feito J-M: Current concepts on the management of tooth wear: part 1. Assessment, treatment planning and strategies for the prevention and the passive management of tooth wear. *Br Dent J* 2012; 212: 17–27
36. Behr M, Fanghänel J, Rauch A: Changing the bite position on a patient with tooth hard substance loss. *Dtsch Zahnärztl Z Int* 2020; 1: 3–7
37. Muts E-J, van Pelt H, Edelhoff D, Krejci I, Cune M: Tooth wear: a systematic review of treatment options. *J Prosthet Dent* 2014; 112: 752–759
38. Natusch I, Klimm W: Chronischer Zahnhartsubstanzverlust im frühen und mittleren Erwachsenenalter. *Zahn Mund Kieferheilkd Zentralbl* 1989; 77: 123–127
39. Peres KG, Armênio MF, Peres MA, Traibert J, Lacerda JT de: Dental erosion in 12-year-old schoolchildren: a cross-sectional study in Southern Brazil. *Int J Paediatr Dent* 2005; 15: 249–255
40. Pindborg JJ: Pathology of the dental hard tissues. Munksgaard, Copenhagen 1970
41. Preston AJ, Barber MW: The ageing UK population – considerations for the restorative dentist. *Int Dent J* 2007; 57: 423–428
42. Radentz WH, Barnes GP, Cutright DE: A survey of factors possibly associated with cervical abrasion of tooth surfaces. *J Periodontol* 1976; 47: 148–154
43. Ray DS, Wiemann AH, Patel PB, Ding X, Kryscio RJ, Miller CS: Estimation of the rate of tooth wear in permanent incisors: a cross-sectional digital radiographic study. *J Oral Rehabil* 2015; 42: 460–466
44. Rodriguez JM, Austin RS, Bartlett DW: In vivo measurements of tooth wear over 12 months. *Caries Res* 2012; 46: 9–15
45. Salas MMS, Nascimento GG, Huysmans MAC, Demarco FF: Estimated prevalence of erosive tooth wear in permanent teeth of children and adolescents: an epidemiological systematic review and meta-regression analysis. *J Dent* 2015; 43: 42–50
46. Salas MMS, Vargas-Ferreira F, Ardenghi TM, Peres KG, Huysmans M-CD, Demarco FF: Prevalence and associated factors of tooth erosion in 8–12-year-old Brazilian schoolchildren. *J Clin Pediatr Dent* 2017; 41: 343–350
47. Schiffner U, Micheelis W, Reich E: Erosionen und keilförmige Defekte bei deutschen Erwachsenen und Senioren. *Dtsch Zahnärztl Z* 2002; 57: 102–106
48. Smith BG, Knight JK: An index for measuring the wear of teeth. *Br Dent J* 1984; 156: 435–438
49. The glossary of prosthodontic terms: Ninth Edition. *J Prosthet Dent* 2017; 117: e1–e105
50. Truin GJ, van Rijkom HM, Mulder J, van't Hof MA: Caries trends 1996–2002 among 6- and 12-year-old children and erosive wear prevalence among 12-year-old children in The Hague. *Caries Res* 2005; 39: 2–8
51. Verger-Pratoucy: La carie dentaire existait-elle chez l'homme du Paléolithique ? *bspf* 1967; 64: 91–95
52. Wetselaar P, Lobbezoo F: The tooth wear evaluation system: a modular clinical guideline for the diagnosis and management planning of worn dentitions. *J Oral Rehabil* 2016; 43: 69–80
53. Wetselaar P, Vermaire JH, Visscher CM, Lobbezoo F, Schuller AA: The prevalence of tooth wear in the Dutch adult population. *Caries Res* 2016; 50: 543–550
54. Wiegand A, Begic M, Attin T: In vitro evaluation of abrasion of eroded enamel by different manual, power and sonic toothbrushes. *Caries Res* 2006; 40: 60–65
55. Wiegand A, Müller J, Werner C, Attin T: Prevalence of erosive tooth wear and associated risk factors in 2–7-year-old German kindergarten children. *Oral Dis* 2006; 12: 117–124
56. Williams D, Croucher R, Marcenes W, O'Farrell M: The prevalence of dental erosion in the maxillary incisors of 14-year-old schoolchildren living in Tower Hamlets and Hackney, London, UK. *Int Dent J* 1999; 49: 211–216
57. Wetselaar P, Wetselaar-Glas MJM, Katzer LD, Ahlers MO: Diagnosing tooth wear, a new taxonomy based on the revised version of the Tooth Wear Evaluation System (TWES 2.0). *J Oral Rehabil* 2020; 47: 703–712
58. Roehl JC, Jakstat HA, Becker K, Wetselaar P, Ahlers MO: Tooth Wear Evaluation System (TWES) 2.0 – Reliability of diagnosis with and without computer-assisted evaluation. *J Oral Rehabil* 2021; 10.1111/joor.13277



Foto: A. Roesner

**DR. ANUSCHKA JOSEPHINE
ROESNER**

Universitätsklinikum Freiburg,
Department für Zahn-, Mund- und
Kieferheilkunde,
Klinik für Zahnärztliche Prothetik
Hugstetterstr. 55, 79106 Freiburg im
Breisgau
anuschka.roesner@uniklinik-freiburg.de

Anuschka Josephine Roesner, Sebastian Hahnel, Michale Behr, Angelika Rauch

Vertikaler Zahnhartsubstanzverlust – eine narrative Übersichtsarbeit

Teil II: Therapie und Nachsorge

Warum Sie diesen Beitrag lesen sollten

Der vorliegende Artikel stellt prärestaurative und restaurative Behandlungsmöglichkeiten bei Patienten mit Zahnhartsubstanzverlust vor.

Einführung: Zahnhartsubstanzverlust ist ein physiologischer Prozess, der multifaktoriell bedingt ist und lebenslang fortschreitet. Je nach Ausmaß und Progression des Zahnhartsubstanzverlusts kann es notwendig werden, in individueller Abstimmung mit dem betroffenen Patienten präventive und/oder therapeutische zahnärztliche Maßnahmen einzuleiten.

Methoden: Anhand einer Literaturrecherche wurden im ersten Teil dieser narrativen Übersichtsarbeit verschiedene Studien, die bis zum Februar 2020 bei PubMed sowie in der S3-Leitlinie Bruxismus erschienen sind, evaluiert. Vor diesem Hintergrund soll im vorliegenden zweiten Teil darauf eingegangen werden, wann prärestaurative Behandlungen indiziert sind, wann eine Bisshebung erfolgen soll, wie diese umgesetzt werden kann und inwieweit diese limitiert ist. Darüber hinaus werden die verschiedenen präprothetischen und restaurativen Versorgungsmöglichkeiten erläutert. Zudem wird im Besonderen auf die unterschiedlichen zahnärztlichen Werkstoffe eingegangen sowie ihre Vor-/Nachteile in Bezug auf Ästhetik, Funktion sowie deren anhand von Studien beschriebenen Langzeitergebnisse.

Ergebnisse: Während physiologischer, altersgemäßer Zahnhartsubstanzverlust nur in Ausnahmefällen eine Indikation zur Behandlung darstellt, muss ausgedehnter, alle Stützonen betreffender oder bis weit ins Dentin reichender Zahnhartsubstanzverlust in aller Regel therapiert werden. Dabei kann es notwendig sein, betreffende Zähne prothetisch zu versorgen, um die okklusale und vertikale Kieferrelation wiederherzustellen und langfristig zu sichern. Am häufigsten wird extendierter Zahnhartsubstanzverlust mit indirekten Restaurationen aus Metall sowie Keramik versorgt. Allgemein kann der extendierte zirkuläre Verlust der Zahnhartsubstanz bei Kronen- und Brückenversorgungen als nachteilig betrachtet werden. Zahnfarbene minimalinvasive Restaurationen können, je nach finanziellen Voraussetzungen des Patienten, als gute Alternative in Betracht gezogen werden.

Schlussfolgerung: Zum gegenwärtigen Zeitpunkt existiert kein universell geeignetes restauratives Therapiekonzept für Patienten mit Zahnhartsubstanzverlust – vielmehr muss bei jedem Patienten eine sehr individuelle Behandlungsentscheidung getroffen werden, bei der sowohl ästhetische als auch funktionelle Parameter in den Entscheidungsprozess einfließen.

Schlüsselwörter: Bisshebung; Brücke; Keramik; Komposit; Krone; nicht kariogener Zahnhartsubstanzverlust; Schiene

Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik und Werkstoffkunde, Universität Leipzig; Dr. Anuschka Josephine Roesner, PD Dr. Angelika Rauch M.Sc.; Prof. Dr. Sebastian Hahnel
Fakultät für Medizin, Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik, Universität Regensburg; Prof. Dr. Michael Behr

*Deutsche Übersetzung der englischen Erstveröffentlichung von Roesner A, Rauch A, Behr M, Hahnel S: Vertical tooth surface loss – a narrative review. Part II: Therapy and aftercare. Dtsch Zahnärztl Z Int 2022; 4: 58–69

Zitierweise: Roesner A, Rauch A, Behr M, Hahnel S: Vertikaler Zahnhartsubstanzverlust – eine narrative Übersichtsarbeit. Teil II: Therapie und Nachsorge. Dtsch Zahnärztl Z 2022; 77: 199–211

Peer-reviewed article: eingereicht: 09.03.2020, revidierte Fassung akzeptiert: 10.06.2020

DOI.org/10.53180/dzz.2022.0016

Vertical tooth surface loss – a narrative review

Part II: Therapy and aftercare

Introduction: Tooth surface loss (TSL) is a physiological process, which is multifactorial and progresses throughout life. Depending on the extent and progression of TSL, it may be necessary for the dental practitioner to initiate individualized preventive and/or therapeutic measures in cooperation with the affected patient.

Methods: In the first part of this narrative review, a literature search on PubMed and in the S3 guideline on bruxism was conducted; various studies appearing up to February 2020 were evaluated. Within this framework, the second part of this article explains when pre-restorative treatments are indicated, when a bite elevation should be performed, as well as, how it can be implemented and to what extent it is limited. Moreover, the various pre-prosthetic and restorative treatment options are elucidated. Additionally, the different dental materials and their advantages and disadvantages in terms of esthetics, function and long-term results are described.

Results: Although physiological, age-related TSL is an indication for treatment only in exceptional cases, extensive TSL affecting the supporting zone of the dentition or reaching far into the dentin usually must be treated. In such cases, it may be necessary to restore and secure the occlusal and vertical jaw relation by means of prosthetic rehabilitation. Most commonly, extensive TSL is treated by means of indirect restorations made of metal and ceramics. In this respect, tooth preparation for crowns and bridges can be seen as a disadvantage as it results in additional circular loss of tooth substance. Tooth-colored, minimally invasive restorations are considered a good alternative depending on the financial means of the patient.

Conclusion: At present, there is no universally suitable restorative therapy concept for patients with TSL; rather, highly individualized treatment decisions must be made for each patient whereby both esthetic and functional parameters are taken into consideration in the decision-making process.

Keywords: bite elevation; bridge; ceramic; composite; crown; non-carious tooth surface loss (TSL); splint

1. Einleitung

Gemäß den Erhebungen der fünften deutschen Mundgesundheitsstudie geht die Zahl an kariösen Läsionen in Deutschland immer weiter zurück. Zeitgleich weisen jüngere Senioren mehr eigene Zähne auf als noch während der Erhebungen im Rahmen der dritten oder vierten deutschen Mundgesundheitsstudie (DMS III: 10,4 Zähne, DMS V 16,9 Zähne) [22]. Parallel dazu scheint jedoch die Prä-

valenz des nicht kariogen bedingten Zahnhartsubstanzverlusts stetig größer zu werden [9].

Zahnhartsubstanzverlust ist ein physiologischer Prozess, der multifaktoriell bedingt ist und lebenslang fortschreitet [5]. Je nach Ausmaß und Progression des Zahnhartsubstanzverlusts (ZHV), besonders unter Berücksichtigung des individuellen Alters des Betroffenen, kann dieser pathologisch sein, und es obliegt dem zahnärzt-

lichen Behandler, in individueller Abstimmung mit dem betroffenen Patienten präventive oder therapeutische Maßnahmen einzuleiten (Abb. 1 und 2) [49]. In Teil I des vorliegenden narrativen Übersichtsartikels (S. 187-198) wurden die Ursachen von nicht kariogen bedingtem Zahnhartsubstanzverlust beleuchtet, diagnostische Möglichkeiten dargestellt und mithilfe eines zusammenfassenden Entscheidungsbaums gezeigt, wann welche Therapieoptionen indiziert sein können. Dafür wurden im Rahmen einer Literaturrecherche anhand themenbezogener Suchbegriffe verschiedene Studien, die bis zum Februar 2020 bei PubMed sowie in der S3-Leitlinie Bruxismus erschienen sind, evaluiert, und zusätzlich wurde eine Handsuche in den jeweiligen Literaturverzeichnissen vorgenommen. Vor diesem Hintergrund möchte der zweite Teil detaillierter auf die möglichen Behandlungsoptionen mit dem Schwerpunkt auf präprothetischen sowie restaurative Maßnahmen eingehen.

2. Vorbehandlung

2.1 Bisshebung – wann und wie?

Bei der Mehrzahl der Patienten geht ein Zahnhartsubstanzverlust (ZHV) mit einer dentoalveolären Kompensation einher [5]. Diese physiologische Kompensation sorgt dafür, dass antagonistischer Zahnkontakt bestehen bleibt und der Patient trotz ZHV die Effizienz seines Kauystems aufrechterhält [5]. Gleichzeitig bedingt dieser Vorgang aber auch einen fehlenden interokklusalen Raum und stellt den zahnärztlichen Behandler vor ein Dilemma, besonders bei lokalisiertem ZHV. Eine Möglichkeit besteht darin, die betroffenen Zähne noch weiter okklusal zu reduzieren. Neben dem zusätzlichen ZHV resultiert dieses Vorgehen jedoch regelmäßig in einer stark reduzierten axialen Höhe des Zahnstumpfs und bedingt verminderte Retentions- und Widerstandskräfte für weitere prothetische Versorgungen [42]. Eine chirurgische Kronenverlängerung kann diesem Problem unter Umständen entgegenwirken, birgt aber die Gefahr von Komplikationen durch den chirurgischen Ein-

griff [42] und bedingt immer eine Verringerung des parodontalen Attachments.

Eine Bisshebung sollte dann durchgeführt werden, wenn aus medizinischen und/oder ästhetischen Gründen zahnärztlicher Handlungsbedarf besteht. Dies ist beispielsweise der Fall, wenn umfassende, die gesamte Dentition betreffende Defekte mit erheblichem Verlust an vertikaler Kronenhöhe sowie ästhetischen Einbußen vorliegen (Abb. 1 und 2), diese nicht mehr mit direkten oder indirekten Maßnahmen punktuell zu restaurieren sind und Alternativen zur Platzbeschaffung, wie eine chirurgische Kronenverlängerung, nicht geeignet sind [21, 25, 45]. Während physiologische altersgemäße Abrasionen/Attritionen nur in Ausnahmefällen eine Indikation zur Behandlung darstellen, kann parafunktionell bedingter ZHV häufig nur symptomatisch behandelt werden. Bei massivem, alle Stützzonen betreffendem oder weit ins Dentin reichendem ZHV kann es notwendig werden, betreffende Zähne prothetisch zu versorgen, um die okklusale und vertikale Kieferrelation wiederherzustellen und langfristig zu sichern [8, 13].

Vor einer Anhebung der vertikalen Kieferrelation mit definitiven Versorgungungen ist, je nach Ausmaß der gewünschten Veränderung, eine vorausgegangene simulierte Erprobungsphase mit reversiblen Maßnahmen zu erwägen [9].

Zuvor sollten jedoch – nicht zuletzt aus forensischen Gründen – funktionelle Erkrankungen ausgeschlossen werden; die prärestaurativen sollten dann ggf. zusammen mit funktionstherapeutischen Maßnahmen umgesetzt werden.

2.2 Festlegung der vertikalen Kieferrelation

Bei allen definitiven restaurativen Therapieoptionen – unabhängig davon, ob diese noninvasiv, minimalinvasiv, invasiv oder additiv sind – muss die geplante vertikale Kieferrelation im Vorfeld bestimmt werden. Im Bereich der Seitenzähne sollte genügend Platz für die spätere Versorgung und die dafür benötigte Mindestmaterialstärke geschaffen werden, wobei gleichzeitig ein Kronen-Wur-



Abbildung 1 Ausgangssituation vor Behandlungsbeginn, extraoral



Abbildung 2 Ausgangssituation vor Behandlungsbeginn, intraoral: Der 67-jährige Patient stellte sich mit dem Wunsch nach prothetischer Rehabilitation bei ausgeprägtem nicht kariogenem Zahnhartsubstanzverlust sowie anamnestisch starkem Bruxismus vor. Klinisch zeigten sich weiche Beläge und Zahnstein, verbunden mit einer generalisierten Gingivitis; bei der klinischen Funktionsanalyse bestätigten sich die anamnestisch angegebenen Parafunktionen, jedoch waren diese symptomlos. Darüber hinaus imponierten unversorgte Schalltlücken in regio der fehlenden Zähne 014 und 046. Die Schneidezähne im Oberkiefer waren unterschiedlich stark verkürzt; dabei zeigte sich klinisch freiliegendes Dentin.



Abbildung 3 Basierend auf einer dentofazialen sowie einer Modell-Analyse wurde eine Erhöhung der mittleren Schneidezähne im Oberkiefer auf 10,5 mm und der mittleren Schneidezähne im Unterkiefer auf 7,5 mm geplant und eine Hebung der vertikalen Kieferrelation um 4 mm angestrebt. Mittels Schienentherapie wurde die neue Kieferrelation für einen Zeitraum von 3 Monaten simuliert; zeitgleich fanden umfangreiche Mundhygiene- und Prophylaxemaßnahmen statt.

zel-Verhältnis von 1:2 nicht überschritten werden sollte. Ferner sollte im Rahmen der Erhöhung oder Veränderung der vertikalen Kieferrelation eine Front-Eckzahnführung in der Dynamik angestrebt werden, und die Spee'sche sowie die Wilson-Kurve

sollten eingehalten werden. Häufig müssen in einem Abrasionsgebiss beide Kiefer aufgrund starker Abnutzungen des okklusalen Reliefs angepasst werden. Gerade im Frontzahngebiet spielen zudem nicht zuletzt ästhetische Gesichtspunkte eine entschei-

Direkte Kompositrestaurationen	
Vorteile	Nachteile
Geringe Kosten bei einem akzeptablen ästhetischen Ergebnis	Polymerisationsschrumpfung bedingt Randspaltbildungen und Wärmeentwicklung
Nichtinvasives Vorgehen – Zahnschubstanz und Pulpa schonend	Schnellerer Verschleiß (im Vergleich zu prothetischen Restaurationen aus Metall/Keramik)
Anwendbar zu diagnostischen Zwecken	Geringe Bruchfestigkeit
Minimal abrasiv gegenüber den Antagonisten	Ästhetische Einbußen durch Verfärbungen
Einfache Reparatur- und Erweiterbarkeit	Techniksensitiv (gute Trockenlegung obligat)
	Ergebnis und Langzeitstabilität abhängig von Quantität und Qualität des Schmelzes
	Reduzierte Möglichkeit, die Approximalkontakte zu gestalten (im Vergleich zu Kronen)
	Bei großen Restaurationen mit Veränderung der vertikalen Dimension nur schwer optimale Umsetzung erzielbar

Tabelle 1 Vor- und Nachteile direkter Kompositrestaurationen [31]

Indirekte Kompositrestaurationen	
Vorteile	Nachteile
Verbesserte Möglichkeit, das okkuse Relief und die Approximalkontakte zu gestalten	Im Vergleich zu Metall-/Keramikrestaurationen reduzierte Randpassung
Verbesserte Möglichkeit, bei großen Restaurationen die vertikale Dimension adäquat zu vergrößern	Mehrere Behandlungen notwendig (im Vergleich zu direkten Kompositrestaurationen)
Ästhetik (vgl. mit Metallrestaurationen)	Zusätzliche Laborkosten
Reduzierte Behandlungszeit für den Behandler bei gleichzeitig einfacher Möglichkeit, intraorale Umgestaltungen vorzunehmen	Mögliche Unterschüsse der Zahnhartsubstanz müssen korrigiert werden – zusätzlicher Zahnhartsubstanzverlust
Minimal abrasiv gegenüber den Antagonisten	Techniksensitiv (gute Trockenlegung obligat)
Im Vergleich zu direkten Kunststoffüllungen gesteigerte Bruchfestigkeit bei verlängerter Langlebigkeit	Geringere Langzeitstabilität im Vergleich zu Keramik-/Metallrestaurationen
Keine/reduzierte Polymerisationsschrumpfung intraoral	

Tabelle 2 Vor- und Nachteile indirekter Kompositrestaurationen [31]

dende Rolle bei der Festlegung der vertikalen Kieferrelation. Daher empfiehlt es sich, das Behandlungsergebnis mithilfe eines Mock-ups zu simulieren (Abb. 4).

2.3 Prärestaurative Möglichkeiten zur Simulation des Behandlungsergebnisses

Insgesamt existieren gegenwärtig nur wenige wissenschaftliche Arbeiten,

die sich mit dem Einfluss von Änderungen der vertikalen Kieferrelation auf die Genese von craniomandibulären Dysfunktionen befassen. Verschiedene Autoren gehen in systema-

tischen Übersichtsarbeiten jedoch davon aus, dass Erhöhungen der vertikalen Kieferrelation im Rahmen einer Bisshhebung um bis zu 5 mm unkritisch sind; in aller Regel würden sich die Patienten gut an die neue Kieferrelation adaptieren, und es würden – wenn überhaupt – nur leichte und temporäre Beschwerden auftreten [1, 2, 37]. Prinzipiell sollte jedoch darauf geachtet werden, dass nach Änderung der vertikalen Kieferrelation noch eine Ruhelage vorhanden ist; große Änderungen sollten stufenweise durchgeführt werden [36]. Nach aktueller Rechtsprechung sowie Stellungnahme der Deutschen Gesellschaft für Funktionsdiagnostik und Therapie (DGFD) ist vor rekonstruktiven Maßnahmen eine funktionelle Untersuchung des kranio-mandibulären Systems im Rahmen einer klinischen Funktionsanalyse zur Aufdeckung ggf. latent vorhandener funktioneller Probleme und zur Behandlungsplanung indiziert. Aus forensischer Sicht hat das Oberlandesgericht München im Jahr 2017 (Aktenzeichen 3U 5039/13) entschieden, dass ein Screening zur Abklärung einer verdeckten kranio-mandibulären Dysfunktion (CMD) vor einer prothetischen Therapie ein ärztlicher Standard ist und das Unterlassen des gebotenen Screenings vor Beginn einer prothetischen Versorgung einen Befunderhebungsfehler darstellt.

Eine regelmäßig Anwendung findende prärestaurative Vorbehandlung, die im Rahmen von komplexen Rehabilitationen bei Patienten mit nicht kariogen bedingtem Zahnhartsubstanzenverlust durchgeführt wird, ist die Schienentherapie (Abb. 3). Aufgrund ihrer Reversibilität besitzen Schienen ein breites Indikationsspektrum und dienen als zahnärztliche Standardmaßnahme in der präprothetischen Therapie. Gerade bei Patienten mit Parafunktionen können Okklusionsschienen wie etwa Äquilibriumsschienen (Synonyme: Michigan-Schiene, Stabilisierungsschiene, Relaxationsschiene u.a.) okklusale Interferenzen ausschalten oder parafunktionelle Aktivitäten reduzieren [39]. Mittels Okklusionsschienen können mögliche Veränderungen der vertikalen und ggf. auch horizontalen Kieferrelation simuliert und so



Abbildung 4 Nach Anfertigung eines klassischen Wax-ups im Ober- und Unterkiefer wurden die Modelle doubliert und Formteile für ein intraorales Mock-up hergestellt. Klinische wurden die Formteile mit zahnfarbenem Komposit-basiertem Provisorienmaterial unterfüttert, und über die bestehende Zahnhartsubstanzen gesetzt. Auf diese Weise ist eine unkomplizierte und zügige Visualisierung des späteren Behandlungsergebnisses möglich.



Abbildung 5 Wo notwendig, erfolgten im Anschluss direkte Restorationen der Zähne mit adhäsiven Aufbaufüllungen zur Herstellung einer Retentionsform und schließlich die Präparation der Pfeilerzähne.



Abbildung 6 Die Präparation wurde mithilfe eines diagnostischen Wax-ups hinsichtlich des erforderlichen Substanzenabtrages kontrolliert; mithilfe des Wax-ups und in der Folge gefertigten Formteilen konnten im Chairside-Verfahren auf kostengünstige Art und Weise provisorische Kronen und Brücken hergestellt werden, die für einen Zeitraum von 3 Monaten zur Kontrolle der Adaptation getragen wurden. Die Frontzähne im Unterkiefer konnten mittels direkter Füllungen aus Komposit an die gewünschte Kieferrelation angepasst werden.

die neue geplante Bisslage über einen definierten Zeitraum in aller Regel reversibel getestet werden [13]. Während nach Kenntnis der Autoren keine belastbare Evidenz zu der Frage

existiert, wie lange in derartigen Situationen eine Schienentherapie zur Testung einer neuen Bisslage erfolgen sollte, haben sich in der Behandlung der Autoren – je nach kli-

Metallrestaurationen	
Vorteile	Nachteile
Schon in sehr geringer Schichtstärke produzierbar (0,5 mm)	Ästhetische Einbußen – begrenzter Einsatz im Frontzahnggebiet/ im sichtbaren Bereich
Sehr gute Randpassung	Intraorale Umgestaltung nur begrenzt möglich
Gering abrasiv gegenüber den Antagonisten	Zusätzliche Laborkosten (im Vergleich zu direkten Restaurationen)
Guter langzeitstabiler Schutz gegenüber der Restzahnhart- substanz	Enge proximale Kontakte mit benachbarten Zähnen zwischen den Seitenzähnen können ein Problem bei der Anwendung von Onlay-Restaurationen darstellen (YAP et al.)
Besonders bei Seitzahnrestaurationen bei Patienten mit Para- funktionen geeignet	Zusätzlicher Abtrag von Zahnhartsubstanz im Vergleich zu adhäsiven Kompositrestaurationen
Geringere Präparation und zusätzlicher Abtrag von Zahnschubstanz im Vergleich zu Keramikkrone	

Tabelle 3 Vor- und Nachteile von Metallrestaurationen aus Gold sowie Co-Cr [31]

Keramikrestaurationen	
Vorteile	Nachteile
Sehr gute ästhetische Ergebnisse	Gute Politur notwendig, ansonsten starke Abrasion gegenüber Antagonisten
Hohe Biegefestigkeit und Bruchzähigkeit von keramischen Restaurationen aus Zirkoniumdioxid	Kostenintensiv (im Vergleich zu direkten Restaurationen)
Verschiedene keramische Materialien für verschiedene Ansprüche	Silikatkeramiken sind techniksensitiv
Schon in sehr geringer Schichtstärke produzierbar (0,5 mm Zirkoniumdioxid)	
Sehr gute Randpassung	
Guter langzeitstabiler Schutz gegenüber der Restzahnhart- substanz	
Unterschiedliche Präparationsmöglichkeiten (Teilkronen, Kronen; Onlays) durch adhäsive Befestigung, auch minimal- invasive Präparation möglich	

Tabelle 4 Vor- und Nachteile von Keramikrestaurationen [31]

nischer Situation – Zeiträume zwischen 3 und 12 Monaten bewährt. Im Rahmen der Behandlungsplanung ist eine im Allgemeinen verminderte Compliance des Patienten bei prolongierter Tragedauer zu berücksichtigen.

Derartige Maßnahmen ermöglichen es dem Patienten, sich an die neue vertikale – und möglicherweise auch horizontale – Kieferrelation zu adaptieren; zudem können auch nachträglich Adjustierungen vor-

genommen werden. Zeigen sich auf der Schiene ausgeprägte Schliffacetten, die auf eine parafunktionelle Aktivität hindeuten, ist nach den Erfahrungen der Autoren eine Umsetzung der Bisshebung mit dem Risiko der

Nonadaptation verbunden [36]. Neue digitale Technologien im Bereich der computergestützten Konstruktion und Fertigung (Computer-Aided Design, Computer-Aided Manufacturing kurz CAD/CAM) ermöglichen zudem die Herstellung von zahnfarbenen und flexiblen Polycarbonatschienen, die eine nichtinvasive, abnehmbare und somit reversible funktionale und ästhetische Lösung im Gegensatz zu herkömmlichen transparenten Schienen oder festen Langzeitprovisorien darstellen (Abb. 9) [12, 13]. Dadurch kann das ästhetische Erscheinungsbild schon zum Zeitpunkt einer frühen Behandlungsphase deutlich verbessert werden; darüber hinaus sind CAD/CAM-gefräste Schienen form- und farbstabil, verfügen über eine bessere Biokompatibilität und zeigen geringere Abnutzungserscheinungen bei verbesserter Passgenauigkeit im Vergleich zu den konventionellen Schienen aus Polymethylmethacrylat [12, 13]. Bei massivem Zahnhartsubstanzverlust kann die vertikale Dimension vergrößert werden, indem für jeden Kiefer eine eigene Polycarbonatschiene hergestellt wird.

Einen alternativen Ansatz bietet das Dahl-Konzept. Dieses beschreibt eine axiale Zahnbewegung, die durch Eingliederung einer in Supraokklusion befindlichen Apparatur eingebracht wird. Zähne, die nicht durch den Aufbiss abgestützt werden, elongieren dabei in vertikaler Richtung [8]. Ursprünglich wurde von Dahl eine herausnehmbare Apparatur aus Kobalt-Chrom beschrieben [8, 42], mittlerweile finden jedoch die unterschiedlichsten Materialien, wie beispielsweise direkte oder indirekte Kompositaufbauten oder CAD/CAM gefräste Plateaus, Anwendung. Die Dicke der Apparatur entspricht dem später gewünschten okklusalen/inzisalen Platzgewinn [42]. Der Effekt wird durch eine Kombination aus Intrusion (40 %) sowie Extrusion (60 %) der nicht in Kontakt stehenden Zähne erzielt [7]. Wissenschaftliche Studien belegen eine hohe Erfolgswahrscheinlichkeit von 94–100 %, die unabhängig vom Alter und Geschlecht des Patienten zu sein scheint [7, 19, 20]. Ferner konnte gezeigt werden, dass auf diese Weise eine Erhöhung der vertikalen Dimen-



Abbildung 7 Aufgrund der in finanzieller Hinsicht eingeschränkten Möglichkeiten des Patienten und des Wunsches nach einer langfristigen Versorgung bei bekannten Parafunktionen wurden Kronen und Brücken aus Nichtedelmetall im Sinterverfahren (Sintatron, Amann Girrbach, Koblach, Österreich) hergestellt und innerhalb der Verblendgrenzen vestibulär mit Keramik verblendet (Zahntechnik: Poljakow und Müller, Regensburg). Das Sinterverfahren wurde im vorliegenden Fall aufgrund der umfangreichen Versorgung mit nicht edlen Legierungen und der Möglichkeit, mit diesem Verfahren besonders homogene Restaurationen lunkerfrei im CAD/CAM-Verfahren herzustellen, gewählt.



Abbildung 8 Nach erfolgreicher Einprobe wurden die Restaurationen konventionell unter Verwendung von Zinkoxid-Phosphat-Zement befestigt (Abb. 6) und der Patient wurde in ein Recallsystem mit engmaschigen Kontrollen aufgenommen.



Abbildung 9 Zahnfarbene Schiene aus Polyoxymethylen im Unterkiefer

sion umd bis zu 5 mm erzielt werden kann, wobei das Ergebnis durchschnittlich nach 6 Monaten erreicht wurde. In Abhängigkeit vom benötigten Platzangebot wurden aller-

dings auch Zeiträume zwischen 18 und 24 Monaten beschrieben [20, 46]. Darüber hinaus besteht natürlich auch die Option, den interokklusalen Raum mit anderen kiefer-

Abb. 1–8: S. Hahnel

Abb. 9: O. Schlierz

orthopädischen Maßnahmen zu vergrößern [15].

Jede definitive zahnärztliche Rehabilitation bei Patienten mit nicht kariogenem Zahnhartsubstanzerlust sollte ausreichend okklusal erprobt werden, um mögliche Probleme in einer frühen und unter Umständen reversiblen Phase festzustellen und weitere Feinjustierungen schnell und einfach vornehmen zu können. In aller Regel kommen in dieser Phase Langzeitprovisorien zum Einsatz [39]. Diese sind vor definitiven prothetischen Versorgungen bei therapeutischen Veränderungen der vertikalen und/oder horizontalen Kieferrelation indiziert, um die veränderte Lage möglichst risikoarm zu erproben [18]. Die prothetischen Anforderungen an Langzeitprovisorien sind im weitesten Sinne mit denen von definitivem Zahnersatz gleichzusetzen. Klassische laborgefertigte Langzeitprovisorien werden aus nichtedlen Legierungen, die je nach Bedarf mit Komposit verblendet werden, hergestellt; nicht zuletzt mit Etablierung der CAD/CAM-Technik sind diese jedoch weithin durch vopolymerisiertes Polymethylmethacrylat in Rondenform sowie indirekte Komposite ersetzt worden. Je nach klinischem Befund und Prognose sollten Langzeitprovisorien für einen Zeitraum von etwa einem halben Jahr getragen werden [39]. Gerade bei komplexen Fällen mit cranio-maxillofazialen Anomalien, die eine interdisziplinäre prothetisch-chirurgische Behandlung erfordern, können solche digitalen präprothetischen Vorbehandlungen einen wichtigen Baustein darstellen [12]. In einigen Behandlungssituationen besteht auch die Möglichkeit, mit direkt hergestellten provisorischen Versorgungen eine temporäre Versorgung anzufertigen, etwa unter Verwendung der Folientechnik, um die Behandlungsergebnisse für einige Monate zu simulieren. Ein derartiges Vorgehen ist erheblich preiswerter als laborgefertigte Varianten. Beide Varianten haben jedoch den Nachteil, dass in aller Regel schon umfangreiche und invasive Maßnahmen notwendig sind, um derartige temporäre Versorgungen eingliedern zu können.

Im Gegensatz dazu besteht in manchen Fällen die Möglichkeit, im Chairside-Verfahren hergestellte oder laborgefertigte Veneers oder Table-Tops – etwa aus Polymethylmethacrylat sowie PMMA-basierten Polymeren, die mit verschiedenen CAD/CAM-Systemen gefräst werden können (beispielsweise Telio CAD, Ivoclar Vivadent; CAD-Temp, Vita Zahnfabrik) – als Non-prep-Variante auf den zu verändernden Zahnarealen zu fixieren; dabei finden in der Regel selbstadhäsive Befestigungskomposite Anwendung [10].

Die Grundvoraussetzung für die Überführung der temporär neudefinierten in eine definitive Kieferrelation ist die funktionelle Beschwerdefreiheit des Patienten [4]. Nicht zuletzt aus forensischen Gründen ist es deshalb empfehlenswert, funktionelle Erst-, ggf. Zwischen- und Endbefunde in einem standardisierten Erhebungsbogen (beispielsweise Klinischer Funktionsstatus der DGFDT oder inhaltlich vergleichbare Formulare) zu dokumentieren. Für die sich anschließenden restaurativen Maßnahmen ist eine an die klinischen Bedürfnisse und die Situation adaptierte Werkstoffauswahl elementar; in dieser Wahl spiegeln sich auch die benötigte Zahnpräparation, die zahntechnische Herstellungsmethode und die vorgesehene Befestigung der definitiven Versorgung wider [4].

3. Definitive restaurative Phase

3.1 Das richtige Material für die definitive Versorgung

Zum gegenwärtigen Zeitpunkt existiert nicht das eine restaurative Therapiekonzept für Patienten mit Zahnhartsubstanzerlust – vielmehr muss bei jedem Patienten eine überaus individuelle Behandlungsentscheidung getroffen werden. Um ein zielführendes Therapiekonzept und damit zusammenhängend das richtige Material wählen zu können, sollten verschiedene Parameter in den Entscheidungsprozess einfließen; dazu gehören die Ausdehnung des Zahnhartsubstanzerlusts, der durch eine Präparation zusätzlich zu erwartende Substanzerlust, der funktionelle Abschlussbefund, das angestrebte Ok-

klusionskonzept sowie die ästhetischen Erwartungen an die Versorgung. Je nach Beschaffenheit der Antagonisten, der geforderten Mindestschichtdicke und der werkstoffabhängigen Befestigungstechnik muss zwischen verschiedenen zur Verfügung stehenden Materialien differenziert werden [4]. Darüber hinaus spielt es etwa bei Patienten mit Bruxismus eine Rolle, welches Material verwendet wird, da sehr viele Materialien seitens der Hersteller Bruxismus als Kontraindikation aufführen. Eine retrospektive klinische Studie verfolgte 1335 Vollkeramik-Restaurationen und stellte fest, dass das Risiko des werkstofflich bedingten Versagens bei Patienten mit Bruxismus um das 2,3-Fache erhöht ist [33]. Eine allgemeingültige Regel gibt es derzeit nicht. Es ist aber zu erwägen, bei Patienten mit ausgeprägtem Zahnhartsubstanzerlust und zusätzlichen Parafunktionen die Behandlungsoptionen möglichst einfach zu halten und unverblendete Restaurationen vorzuziehen.

3.1.1 Komposite

Minimalinvasive und gleichzeitig ästhetische Ergebnisse können, gerade bei geringerem Zahnhartsubstanzerlust, durch direkte Restaurationen aus Komposit erzielt werden [9], die eine rein defektorientierte Vorgehensweise ohne zusätzliche Präparationsmaßnahmen ermöglichen (Tab. 1). Häufig setzt dieses Verfahren jedoch Vorarbeiten im indirekten Verfahren voraus – so beispielsweise dann, wenn eine neue Kieferrelation unter Verwendung eines Wax-ups/Mock-ups eingestellt werden soll. Unter Verwendung von Nanofüllerkompositen sowie Nanohybridkompositen können auch extendierte okklusale Zahnhartsubstanzerluste mit Höckerersatz mittels direkter Restaurationen aus Komposit versorgt werden [9]. Dieses Vorgehen stellt eine substanzschonende und preisgünstige Therapieform für den Patienten dar und bewirkt ein gutes ästhetisches Ergebnis bei langfristig minimalem okklusalem Verschleiß [9]. Zudem können direkte Restaurationen aus Komposit z.B. bei diagnostischen Vorbehandlungen im Rahmen einer Rekonstruktion der Bisshöhe Anwendung finden und sind deutlich leichter reparatur-

Überlebensdaten unterschiedlicher Versorgungen				
Studie	Versorgung	Werkstoff	Beobachtungszeitraum (Jahre)	Überlebensrate
Pjetursson und Lang 2008 [40]	Kronen/Brücken (N = 2088/1218)	Nicht näher spezifiziert	5/10	93,8 %/89,2 %
	Extensionsbrücken (N = 432/239)	Nicht näher spezifiziert	5/10	91,4 %/80,3 %
	Implantatgetragener ZE (N = 1384/219)	Nicht näher spezifiziert	5/10	95,2 %/86,7 %
	Implantatzahngetragener ZE (N = 199/72)	Nicht näher spezifiziert	5/10	95,5 %/77,8 %
	Implantatgetragene Kronen (N = 465/69)	Nicht näher spezifiziert	5/10	94,5 %/89,4 %
	Klebebrücken (N = 1374/51)	Nicht näher spezifiziert	5/10	87,0 %/65,0 %
Sailer et al. 2015 [48]	Einzelkronen (N = 4663)	Metallkeramik	5	94,7 %
	Einzelkronen (N = 9434)	Vollkeramik – Lithiumdisilikat – glasinfiltriertes Aluminiumoxid – dicht gesintertes Aluminium und Zirkoniumdioxid	5	96,6 % 94,6 % 96,0 %
Pjetursson et al. 2015 [41]	Zahngetragener ZE (N = 1796)	Metallkeramik	5	94,4 %
	Zahngetragener ZE (N = 1110)	Vollkeramik – Glaskeramik – glasinfiltriertes Aluminiumoxid – Zirkoniumdioxid	5	89,1 % 86,2 % 90,4 %
Rinke et al. 2018 [47]	Veneers (N = 101)	Gepresste Glaskeramik	7	93,6 %
	Extendierte Veneers (N = 101)	Gepresste Glaskeramik	7	95,0 % im OK 91,2 % im UK
	Veneers bei weniger als 50 % exponiertem Dentin	Gepresste Glaskeramik	7	94,3 %
	Veneers bei mehr als 50 % exponiertem Dentin	Gepresste Glaskeramik	7	71,8 %
Edelhoff et al. 2019 [11]	Onlays (N = 103)	Lithiumdisilikatkeramik	11	100,0 %

Tabelle 5 Zusammenfassung einiger wissenschaftlicher Studien mit Überlebensdaten zu verschiedenen prothetischen Versorgungen (Tab. 1–5: A. Roesner)

fähig als indirekte Restaurationen aus Keramik oder Metall (Tab. 1). Eine Fall-Kontroll-Studie belegte, dass Re-

konstruktionen der vertikalen Kieferrelation mit direkten Restaurationen aus Komposit auch nach mehr als

5 Jahren klinisch suffizient sind; allerdings zeigen sich auch negative Veränderungen wie Randspalte, Ab-

nutzungserscheinungen und Verfärbungen [3]. Auf der Grundlage des Radboud Tooth Wear Project zeigte eine Studie von Loomans et al., dass die klinische Evidenz für direkte Kompositrestaurationen zur Erhöhung der vertikalen Dimension bei Patienten mit schwerem Zahnhartsubstanzverlust bislang überwiegend auf ein Follow-up von 5 Jahren beschränkt ist [27]. So zeigte eine Studie, bei der 34 Patienten mit pathologischem Zahnhartsubstanzverlust mithilfe von 1256 direkten Kompositrestaurationen versorgt wurden (687 Versorgungen in der Front, 324 Versorgungen an Prämolaren und 245 Versorgungen an Molaren), dass die Überlebensrate der direkten Versorgungen davon abhängt, an welchem Zahn eine solche Versorgung angebracht wird. Molaren wiesen dabei die schlechteste Prognose auf [28]. Bei Patienten mit Parafunktionen wie etwa Bruxismus schreitet der Zahnhartsubstanzverlust häufig schneller voran als bei Patienten ohne zusätzliche Parafunktionen. Außerdem müssen die verwendeten Materialien zusätzlichen parafunktionellen Aktivitäten standhalten. Dies ist der Grund, warum der Anwendungsbereich von direkten Restaurationen aus Komposit bei Patienten mit Parafunktionen häufig limitiert ist. Weitere Nachteile sind die Polymerisationsschrumpfung, die zu möglichen Spaltbildungen am Füllungsrand führen kann, Verfärbungen sowie die hohe Techniksensitivität (Trockenlegung, Sicherstellung von Schmelzhafung) [24, 32]. Finden direkte Restaurationen aus Komposit im Rahmen einer Rekonstruktion der vertikalen Kieferrelation Anwendung, werden häufig der hohe Zeitaufwand und die Schwierigkeit, die okklusale Morphologie exakt nachzubilden, bemängelt [4]. Klinische Lösungsansätze bieten hier Übertragungsschienen oder Silikonstempel [3,53]. In Arealen mit großer okklusaler Belastung sollte das Material zudem eine Mindestschichtstärke von 1,5–2 mm aufweisen [42].

Indirekte Restaurationen aus Komposit werden im klinischen Alltag momentan eher selten verwendet, haben jedoch einige Vorteile gegenüber direkten Restaurationen; dazu gehört beispielsweise eine redu-

zierte Polymerisationsschrumpfung, da die Polymerisation bei CAD/CAM-Kompositen schon im Rahmen der Herstellung erfolgt ist. Somit entfällt der negative Effekt einer klinischen Polymerisationsschrumpfung, wie sie bei direkten Kompositen auftritt. Dazu kommen die Zeitersparnis am Behandlungsstuhl, einfache Umgestaltungsmöglichkeiten im Patientenmund sowie eine geringere Abrasivität gegenüber den Antagonisten verglichen mit Restaurationen aus Keramik [32]. Als Nachteile lassen sich die reduzierte Randpassung im Vergleich zu Versorgungen aus Metall oder Keramik nennen sowie der größere Kostenaufwand im Vergleich zu direkten Versorgungen (Tab. 2).

3.1.2 Indirekte Restaurationen aus Metall und Keramik

Nach wie vor am häufigsten wird extendierter Zahnhartsubstanzverlust mit indirekten Restaurationen aus Metall sowie Keramik versorgt (Abb. 5–8). Dabei ist zu beachten, dass bis dato wenige wissenschaftliche Daten zur Bewährung von Versorgungen im Kontext einer Bisshebung vorliegen [11].

Prinzipiell zeigen Kronen- und Brückenversorgungen aus Metall sehr gute Langzeitergebnisse (Tab. 5) [40]. Restaurationen aus metallischen Werkstoffen weisen eine hohe Elastizität und Zugfestigkeit sowie eine gute Passgenauigkeit bei geringerer Präparation der zu versorgenden Zähne im Vergleich zu Restaurationen aus Keramik auf. Unter ästhetischen Gesichtspunkten müssen jedoch die gräulich/silberne Farbe und der metallische Glanz bemängelt werden, weshalb diese Versorgungen im sichtbaren Bereich in aller Regel zusätzlich mit einem keramischen Werkstoff verblendet werden (Tab. 3). Keramische Restaurationen spiegeln die initial geforderten Materialeigenschaften am breitesten wider (Tab. 4). Keramiken, insbesondere Glaskeramiken, zeigen langfristig eine stabilere Erhaltung der physiologischen Okklusion im Vergleich zu Restaurationen aus Komposit, wenngleich auch bei ihnen im Seitenzahngelände häufigere Verluste als im Frontzahnbereich beschrieben sind [40]. Um die bewährten klassischen Restaura-

tionen mit weniger invasiven Präparationsformen zu kombinieren, wurden minimalinvasive keramische Restauration wie Table-Tops entwickelt [9]. Dabei endet die Präparationsgrenze weit supragingival und in aller Regel auf Höhe des prothetischen Äquators. Silikatkeramiken liefern dabei die besten ästhetischen Ergebnisse und können im Frontzahnbereich in Form von Veneers sowie im Seitenzahnbereich als kleinere Restaurationsformen zum Einsatz kommen [17, 29, 54]. Bei einer Langzeitstudie wurden 34 Patienten mit 96 silikatkeramischen Inlays sowie Onlays versorgt. Nach einem Beobachtungszeitraum von 12 Jahren lag die Überlebensrate bei 84 %, und es zeigte sich, dass Versorgungen, die mit dualhärtenden Befestigungskompositen zementiert wurden, eine bessere Überlebensrate aufwiesen als mit lighthärtenden Befestigungskompositen eingegliederte Restaurationen [17]. Lithiumdisilikatkeramiken weisen im Vergleich zu den klassischen Silikatkeramiken eine höhere Biegefestigkeit auf und können daher mitunter auch als Material für 3-gliedrige Endpfeilerbrücken (bis zum 2. Prämolaren) verwendet werden. Für den Einsatz von weiter posterior zu ersetzenden Seitenzähnen liegen nach heutigem Stand keine Herstellerfreigaben vor [6, 14, 23, 30, 40, 43, 50]. In einer prospektiven und nicht randomisierten klinischen Studie wurden 7 Patienten mit insgesamt 103 adhäsiv befestigten okklusalen Onlays aus Lithiumdisilikatkeramik (IPS e.max Press, Ivoclar Vivadent) versorgt. Nach 11 Jahren zeigte sich eine Überlebensrate von 100 % (Tab. 5), wobei 4 Restaurationen bei einem Patienten leichte Verfärbungen am Restaurationsrand und eine Restauration nach 10 Jahren eine marginale Rissbildung aufwiesen; es konnten jedoch keine biologischen Komplikationen, Dezementierungen oder kariösen Läsionen am Kronenrand nachgewiesen werden [11]. Anzumerken bleibt, dass die Studie insgesamt nur 7 Patienten umfasste, bei denen keine parodontalen Erkrankungen existierten und bei denen eine optimale Mundhygiene vorlag. Zudem verfügen Lithiumdisilikatkeramiken über eine höhere Biege-

festigkeit und Risszähigkeit als klassische Silikatkeramiken, was in der Konsequenz eine minimalinvasivere Präparation ermöglicht [16]. Versorgungen aus Zirkoniumdioxidkeramik werden sowohl für Kronen- als auch für Brückenrestorationen der Front- und Seitenzähne verwendet [44]. Zirkoniumdioxid zeichnet sich durch seine hohe Festigkeit und Bruchzähigkeit, geringe minimale Schichtstärken, guten Randschluss sowie gute Ästhetik bei akzeptabler Lichtdurchlässigkeit und gleichzeitiger Möglichkeit, verfärbte Zähne zu maskieren, aus. Seit Einführung der CAD/CAM-Technologie konnten die Produktion vereinfacht und die Herstellungskosten erheblich gesenkt werden [38]. Auch dem früher häufig bekannten Problem des Chippings bei verblendeten Restaurationen aus Zirkoniumdioxid [26, 52] konnte durch Adaptation der Brennparameter und Etablierung einer anatoformen Gerüstgestaltung weitgehend entgegengewirkt werden [38]. Zudem besteht heute aufgrund einer Weiterentwicklung der Zusammensetzung der Zirkoniumdioxidkeramik die Möglichkeit, auch monolithische Varianten für Patienten mit ästhetischem Anspruch herzustellen. Allgemein zeigten Studien für dreigliedrige Brücken aus Zirkoniumdioxid innerhalb eines Beobachtungszeitraums von mindestens 5 Jahren eine Überlebenswahrscheinlichkeit von 90,0–96,8 % (Tab. 5) [6, 14, 23, 30, 40, 43, 50]. Gemäß der S3-Leitlinie liegt für vollkeramische zwei- oder mehrspannige Brücken keine ausreichende wissenschaftliche Evidenz vor [35].

Metallkeramiken vereinen die positiven Eigenschaften von Metallen und Keramiken (Abb. 7 und 8). Ihre Vorteile liegen in der hohen Elastizität, bedingt durch das metallische Gerüst, sowie Zugfestigkeit und guter Passgenauigkeit bei gleichzeitig guter Ästhetik und Mundbeständigkeit dank der keramische Verblendung [51].

Materialunabhängig ist bei klassischen Kronen- und Brückenversorgungen der extendierte zirkuläre Verlust an Zahnhartsubstanz nachteilig. So konnte gezeigt werden, dass für eine konventionelle Krone bis zu 70 %

der Zahnhartsubstanz abgetragen werden müssen; dies kann durch die Präparation von Table-Tops, Teilkronen und Onlays deutlich reduziert werden [9]. Bei endodontisch behandelten Zähnen kann die Entscheidung für eine Teilkrone anstelle einer Krone einen Erhalt von bis zu 45 % der Zahnhartsubstanz bedeuten [9]. Aufgrund des hohen Chippingrisikos sollte die Verblendung lediglich vestibulär ausgedehnt sein oder auf eine Verblendung ganz verzichtet werden. Die Regelversorgung der gesetzlichen Krankenkassen sieht bei extendiertem Verlust an Zahnhartsubstanz eine Kronenrestauration aus Nichtedelmetall – innerhalb der Verblendgrenzen mit vestibulärer Verblendung – vor. Darüber hinaus belegte eine prospektive Studie, dass sich die jährliche Versagensrate direkter und indirekter Kompositrestaurationen auf 6,9–26,3 % beläuft. Bei den aufgeführten und von den Autoren als nicht akzeptable Verlustraten genannten 26,3 % handelt es sich jedoch um Ergebnisse einer einzelnen Studie zu mikrogefüllten Kompositen. Zusammenfassend bleibt jedoch festzuhalten, dass es keine eindeutigen Hinweise darauf gibt, dass ein Material besser ist als ein anderes [34].

4. Fazit

Während physiologischer, altersgemäßer Zahnhartsubstanzenverlust nur in Ausnahmefällen eine Indikation zur Behandlung darstellt, muss ausgedehnter, alle Stützzonen betreffender oder bis weit ins Dentin reichender Zahnhartsubstanzenverlust in aller Regel therapiert werden. Dabei kann es notwendig sein, betreffende Zähne prothetisch zu versorgen, um die okklusale und vertikale Kieferrelation wiederherzustellen und langfristig zu sichern. Für eine Erhöhung der vertikalen Kieferrelation stehen unterschiedliche Behandlungsoptionen wie die Schienentherapie, temporäre Versorgungen oder das Dahl-Konzept zur Verfügung. Grundvoraussetzung für die Überführung der in der prärestaurativen Phase definierten Kieferrelation ist die funktionelle Beschwerdefreiheit des Patienten. Bei der sich anschließenden definitiven Restauration können un-

terschiedliche Versorgungen sowie Werkstoffe eingesetzt werden. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt existiert kein universell geeignetes restauratives Therapiekonzept für Patienten mit Zahnhartsubstanzenverlust – vielmehr muss bei jedem Patienten eine sehr individuelle Behandlungsentcheidung getroffen werden, in die sowohl ästhetische als auch funktionelle Parameter einfließen. Am häufigsten wird extendierter Zahnhartsubstanzenverlust mit indirekten Restaurationen aus Metall sowie Keramik versorgt. Dennoch belegten Studien auf der Grundlage des Radboud Tooth Wear Project, dass selbst bei Patienten mit schwerem Zahnhartsubstanzenverlust nicht immer eine restaurative Behandlung indiziert ist. Falls die Patienten keine Beschwerden oder ästhetischen Anliegen haben, sind engmaschige Kontrolle und Nachsorge ebenfalls denkbare Optionen. Allgemein kann der extendierte zirkuläre Verlust der Zahnhartsubstanz bei Kronen- und Brückenversorgungen als nachteilig betrachtet werden. Zahnfarbene minimalinvasive Restaurationen können, je nach finanziellen Voraussetzungen des Patienten, als gute Alternative in Betracht gezogen werden. Restaurationen, einschließlich solcher, die als definitiv gelten, können bei Patienten mit starkem Zahnverschleiß aufgrund von Bruxismus und Erosion eine begrenzte Lebensdauer aufweisen. Eine ausführliche Aufklärung über die möglichen Behandlungsoptionen sowie die möglichen zu erwartenden Komplikationen sollte in der Einverständniserklärung enthalten sein.

5. Anerkennungen

Die Autoren bedanken sich für die freundliche Überlassung der Abbildung 9 bei PD. Dr. Oliver Schierz, Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik und Werkstoffkunde, Universität Leipzig.

Interessenkonflikt

Die Autoren erklären, dass kein Interessenkonflikt im Sinne der Richtlinien des International Committee of Medical Journal Editors besteht.

Literatur

1. Abduo J: Safety of increasing vertical dimension of occlusion: a systematic review. *Quintessence Int* 2012; 43: 369–380
2. Abduo J, Lyons K: Clinical considerations for increasing occlusal vertical dimension: a review. *Aust Dent J* 2012; 57: 2–10
3. Attin T, Filli T, Imfeld C, Schmidlin PR: Composite vertical bite reconstructions in eroded dentitions after 5.5 years: a case series. *J Oral Rehabil* 2012; 39: 73–79
4. Behr M, Fanghänel J: *Kraniomandibuläre Dysfunktionen*. Georg Thieme Verlag, Stuttgart 2020
5. Berry DC, Poole DF: Attrition: possible mechanisms of compensation. *J Oral Rehabil* 1976; 3: 201–206
6. Chun Y-HP, Raffelt C, Pfeiffer H et al.: Restoring strength of incisors with veneers and full ceramic crowns. *J Adhes Dent* 2010; 12: 45–54
7. Dahl BL, Krogstad O: The effect of a partial bite raising splint on the occlusal face height. An x-ray cephalometric study in human adults. *Acta Odontol Scand* 1982; 40: 17–24
8. Dahl BL, Krogstad O, Karlsen K: An alternative treatment in cases with advanced localized attrition. *J Oral Rehabil* 1975; 2: 209–214
9. Edelhoff D, Ahlers MO: Occlusal onlays as a modern treatment concept for the reconstruction of severely worn occlusal surfaces. *Quintessence Int* 2018; 49: 521–533
10. Edelhoff D, Beuer F, Schweiger J, Brix O, Stimmelmayer M, Guth J-F: CAD/CAM-generated high-density polymer restorations for the pretreatment of complex cases: a case report. *Quintessence Int* 2012; 43: 457–467
11. Edelhoff D, Güth JF, Erdelt K, Brix O, Liebermann A: Clinical performance of occlusal onlays made of lithium disilicate ceramic in patients with severe tooth wear up to 11 years. *Dent Mater* 2019; 35: 1319–1330
12. Edelhoff D, Probst F, Ehrenfeld M, Prandtner O, Schweiger J, Liebermann A: Interdisciplinary full-mouth rehabilitation for redefining esthetics, function, and orofacial harmony. *J Esthet Restor Dent* 2019; 31: 179–189
13. Edelhoff D, Schweiger J, Prandtner O, Trimpl J, Stimmelmayer M, Güth J-F: CAD/CAM splints for the functional and esthetic evaluation of newly defined occlusal dimensions. *Quintessence Int* 2017; 48: 181–191
14. Eschbach S, Wolfart S, Bohlsen F, Kern M: Clinical evaluation of all-ceramic posterior three-unit FDPs made of In-Ceram Zirconia. *Int J Prosthodont* 2009; 22: 490–492
15. Evans RD: Orthodontics and the creation of localised inter-occlusal space in cases of anterior tooth wear. *Eur J Prosthodont Restor Dent* 1997; 5: 169–173
16. Fradeani M, Barducci G, Bacherini L, Brennan M: Esthetic rehabilitation of a severely worn dentition with minimally invasive prosthetic procedures (MIPP). *Int J Periodontics Restorative Dent* 2012; 32: 135–147
17. Frankenberger R, Taschner M, Garcia-Godoy F, Petschelt A, Krämer N: Leucite-reinforced glass ceramic inlays and onlays after 12 years. *J Adhes Dent* 2008; 10: 393–398
18. Handel G: *Langzeitprovisorien*. Wissenschaftliche Stellungnahme Deutsche Gesellschaft für Zahn- Mund- und Kieferheilkunde. www.dgzmk.de/langzeitprovisorien (letzter Zugriff am: 15.01.2019)
19. Gough MB, Setchell DJ: A retrospective study of 50 treatments using an appliance to produce localised occlusal space by relative axial tooth movement. *Br Dent J* 1999; 187: 134–139
20. Hemmings KW, Darbar UR, Vaughan S: Tooth wear treated with direct composite restorations at an increased vertical dimension. Results at 30 months. *J Prosthet Dent* 2000; 83: 287–293
21. Johansson A, Johansson A-K, Omar R, Carlsson GE: Rehabilitation of the worn dentition. *J Oral Rehabil* 2008; 35: 548–566
22. Jordan AR, Micheelis W, Cholmakow-Bodechtel C (Hrsg): *Fünfte Deutsche Mundgesundheitsstudie (DMS V)*. Deutscher Zahnärzte Verlag DÄV, Köln 2016
23. Kern M, Sasse M, Wolfart S: Ten-year outcome of three-unit fixed dental prostheses made from monolithic lithium disilicate ceramic. *J Am Dent Assoc* 2012; 143: 234–240
24. Kilpatrick N, Mahoney EK: Dental erosion: part 2. The management of dental erosion. *N Z Dent J* 2004; 100: 42–47
25. Lee A, He LH, Lyons K, Swain MV: Tooth wear and wear investigations in dentistry. *J Oral Rehabil* 2012; 39: 217–225
26. Lima E de, Meira JBC, Özcan M, Cesar PF: Chipping of veneering ceramics in zirconium dioxide fixed dental prosthesis. *Curr Oral Health Rep* 2015; 2: 169–173
27. Loomans B, Opdam N: A guide to managing tooth wear: the Radboud philosophy. *Br Dent J* 2018; 224: 348–356
28. Loomans BAC, Kreulen CM, Huijs-Visser, HECE et al.: Clinical performance of full rehabilitations with direct composite in severe tooth wear patients: 3.5 years results. *J Dent* 2018; 70: 97–103
29. Magne P, Douglas WH: Additive contour of porcelain veneers: a key element in enamel preservation, adhesion, and esthetics for aging dentition. *J Adhes Dent* 1999; 1: 81–92
30. Makarouna M, Ullmann K, Lazarek K, Boening KW: Six-year clinical performance of lithium disilicate fixed partial dentures. *Int J Prosthodont* 2011; 24: 204–206
31. Mehta SB, Banerji S, Millar BJ, Suarez-Feito J-M: Current concepts on the management of tooth wear: part 1. Assessment, treatment planning and strategies for the prevention and the passive management of tooth wear. *Br Dent J* 2012; 212: 17–27
32. Mehta SB, Banerji S, Millar BJ, Suarez-Feito J-M: Current concepts on the management of tooth wear: part 4. An overview of the restorative techniques and dental materials commonly applied for the management of tooth wear. *Br Dent J* 2012; 212: 169–177
33. Mengatto CM, Coelho-de-Souza FH, de Souza Junior, Oswaldo Baptista: Sleep bruxism: challenges and restorative solutions. *Clin Cosmet Investig Dent* 2016; 8: 71–77
34. Mesko ME, Sarkis-Onofre R, Cenci MS, Opdam NJ, Loomans B, Pereira-Cenci T: Rehabilitation of severely worn teeth: A systematic review. *J Dent* 2016; 48: 9–15
35. Meyer KM: *Vollkeramische Kronen und Brücken*. S3 Leitlinie. www.awmf.org/leitlinien/detail/II/083-012.html (letzter Zugriff am: 15.01.2019)
36. Behr M, Fanghänel J, Rauch A: Changing the bite position in a patient with tooth hard substance loss. *Dtsch Zahnärztl Z Int* 2020; 2: 3–7
37. Moreno-Hay I, Okeson JP: Does altering the occlusal vertical dimension produce temporomandibular disorders? A literature review. *J Oral Rehabil* 2015; 42: 875–882
38. Nam J, Tokutomi H: Using zirconia-based prosthesis in a complete-mouth reconstruction treatment for worn dentition with the altered vertical dimension of occlusion. *J Prosthet Dent* 2015; 113: 81–85
39. Ahlers MO, Fussnegger M, Göz G et al.: *Zur Therapie der funktionellen Erkrankung des kranio-mandibulären Systems* 2015. www.dgzmk.de/zur-therapie-der-funktionellen-erkrankungen-des-kranio-mandibulaeren-systems (letzter Zugriff am 15.01.2019)
40. Pjetursson BE, Lang NP: Prosthetic treatment planning on the basis of scientific evidence. *J Oral Rehabil* 2008; 35 (Suppl 1): 72–79
41. Pjetursson BE, Sailer I, Makarov NA, Zwahlen M, Thoma DS: All-ceramic or

metal-ceramic tooth-supported fixed dental prostheses (FDPs)? A systematic review of the survival and complication rates. Part II: Multiple-unit FDPs. Dent Mater 2015; 31: 624–639

42. Poyser NJ, Porter RWJ, Briggs PFA, Chana HS, Kelleher MGD: The Dahl Concept: past, present and future. Br Dent J 2005; 198: 669

43. Raigrodski AJ, Hillstead MB, Meng GK, Chung K-H: Survival and complications of zirconia-based fixed dental prostheses. A systematic review. J Prosthet Dent 2012; 107: 170–177

44. Raigrodski AJ, Hillstead MB, Meng GK, Chung K-H: Survival and complications of zirconia-based fixed dental prostheses: A systematic review. J Prosthet Dent 2012; 107: 170–177

45. Rammelsberg P: Bisshebung – Möglichkeiten und Grenzen. Zahnmedizin up2date 2014; 8: 227–242

46. Redman CDJ, Hemmings KW, Good JA: The survival and clinical performance of resin-based composite restorations used to treat localised anterior tooth wear. Br Dent J 2003; 194: 566

47. Rinke S, Pabel A-K, Schulz X, Rödiger M, Schmalz G, Ziebolz D: Retrospective evaluation of extended heat-pressed

ceramic veneers after a mean observational period of 7 years. J Esthet Restor Dent 2018; 30: 329–337

48. Sailer I, Makarov NA, Thoma DS, Zwahlen M, Pjetursson BE: All-ceramic or metal-ceramic tooth-supported fixed dental prostheses (FDPs)? A systematic review of the survival and complication rates. Part I: Single crowns (SCs). Dent Mater 2015; 31: 603–623

49. Smith BG, Knight JK: An index for measuring the wear of teeth. Br Dent J 1984; 156: 435–438

50. Sorrentino R, Simone G de, Tetè S, Russo S, Zarone F: Five-year prospective clinical study of posterior three-unit zirconia-based fixed dental prostheses. Clin Oral Investig 2012; 16: 977–985

51. Strub JR, Kern M, Türp JC, Witkowski S, Heydecke G, Wolfart S: Curriculum Prothetik: Band II: Artikulatoren, Ästhetik, Werkstoffkunde, festsitzende Prothetik. Quintessenz Verlags-GmbH, Berlin 2011

52. Swain MV: Unstable cracking (chipping) of veneering porcelain on all-ceramic dental crowns and fixed partial dentures. Acta Biomater 2009; 5: 1668–1677

53. Tauböck TT, Attin T, Schmidlin PR: Implementation and experience of a new method for posterior vertical bite recon-

struction using direct resin composite restorations in the private practice – a survey. Acta Odontol Scand 2012; 70: 309–317

54. van Dijken, Jan W V, Hasselrot L: A prospective 15-year evaluation of extensive dentin-enamel-bonded pressed ceramic coverages. Dent Mater 2010; 26: 929–939



Foto: A. Roesner

**DR. ANUSCHKA JOSEPHINE
ROESNER**

Universitätsklinikum Freiburg,
Department für Zahn-, Mund- und
Kieferheilkunde,
Klinik für Zahnärztliche Prothetik
Hugstetterstr. 55, 79106 Freiburg im
Breisgau
anuschka.roesner@uniklinik-freiburg.de

GESELLSCHAFTSMITTEILUNGEN / SOCIETY NOTES

Aufruf für Anträge an die Hauptversammlung der DGZMK

Die Hauptversammlung der Deutschen Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde findet statt am **Donnerstag, 10. November 2022, um 13.30 Uhr im Maritim Hotel Frankfurt.** Hierzu laden wir alle Mitglieder herzlich ein und bitten um zahlreiches Erscheinen.

Anträge an die Hauptversammlung sind bis zum 15. September 2022 per Einschreiben zu richten an die

Geschäftsstelle der DGZMK
Liesegangstraße 17a
40211 Düsseldorf

Düsseldorf, 15. Juni 2022
Prof. Dr. Roland Frankenberger
Präsident der DGZMK

AMIT – Weltkongress in München soll MIH-Ursachen entschlüsseln helfen

Prof. Dr. Norbert Krämer erläutert die Hintergründe und Ziele der Veranstaltung, die vom 30. November bis 3. Dezember 2022 stattfindet.

Es bedeutet eine weltweite Premiere und soll helfen, mehr Klarheit in das Krankheitsbild der Molaren-Inzisiven-Hypomineralisation (MIH) zu bringen. In München wird vom 30. November bis zum 3. Dezember 2022 erstmals der Weltkongress der „Alliance of Molar Incisor Hypomineralization Investigation and Treatment (AMIT)“ veranstaltet. Hauptziel der AMIT ist es, das Ausmaß und die Bedeutung des MIH-Problems weltweit zu erfassen, Hinweise zur Ätiologie zu erhalten und so eine angemessene Prävention und Behandlung der Krankheit zu ermöglichen. Einer der Initiatoren ist Prof. Dr. Norbert Krämer (Uni Gießen), Past Präsident der Deutsche Gesellschaft für Kinderzahnheilkunde (DGKiZ) und der European Academy of Paediatric Dentistry (EAPD) sowie ehemaliges Vorstandsmitglied des Weltverbandes International Association of Paediatric Dentistry (IAPD). Im Interview erläutert er die Hintergründe der Veranstaltung.

Was bedeutet die AMIT und wer steckt dahinter?

Prof. Krämer: Auf dem Gebiet MIH haben wir zahllose Arbeitsgruppen, die in den Bereichen der Epidemiologie, der Ätiologie, der Definition der Erkrankung, Versorgung und Prävention arbeiten. Wir sind aber, was auch die Leitlinie der Europäischen Fachgesellschaft zeigt, in der Ätiologie und Versorgung noch nicht viel weiter gekommen, weil jeder sich nur einen kleinen Teil herauspicks und das Gesamtbild dadurch leider nicht klar wird. Gerade am Beispiel Ätiologie erkennt man, wie wichtig die Zusammenarbeit untereinander ist. Mosaik-

steinchen wie Erkältungskrankheiten, Antibiotikagaben, Vitamin-D-Mangel oder hormonell wirksame Stoffe, Stichwort Bisphenol A, könnten einen Einfluss haben, lassen sich aber noch nicht zusammenfügen. Jeder macht dabei vor sich hin, und wir erhalten mittlerweile seit Jahrzehnten kein Bild darüber, was die Ursache der Erkrankung wirklich sein könnte.

Das war für uns der Anlass zu schauen, dass wir Netzwerke bilden, um die einzelnen Akteure zusammenzubringen, sodass wir gemeinsam forschen, gemeinsam aufklären und an einem Strang ziehen können. Das hat bislang keine Fachgesellschaft übernommen. Vor diesem Hintergrund ist die AMIT, die Alliance of Molar Incisor Hypomineralization Investigation and Treatment, entstanden. Daran sind weltweit Experten beteiligt. Wir haben die Kinderzahnärztlichen Fachgesellschaften eingeladen, am Ende unserer Konferenz in München im Rahmen einer Podiumsdiskussion gemeinsam zu diskutieren und zu planen.

Was hat den Ausschlag für München als Veranstaltungsort gegeben?

Die Idee von AMIT ist vor Corona entstanden. Und Corona hat uns sehr getroffen. Es war und ist schwierig, internationale Kongresse zu planen und zu veranstalten. Europa ist in den letzten Monaten doch kalkulierbarer geworden. Das war der Grund, warum wir den Kongress dann nach München geholt haben. Europa ist eine der Schwerpunktregionen und auch die, in der MIH 1987 durch Göran Koch als Krankheitsbild erstmals beschrieben und



Foto: Norbert Krämer

Prof. Dr. Norbert Krämer (Uni Gießen) ist einer der Initiatoren der AMIT.

benannt wurde, quasi die „Geburtsregion“. Mit dem Kongress hier in Mitteleuropa haben wir MIH also nach Hause geholt.

Warum ist ein Besuch der AMIT für Zahnmediziner*innen empfehlenswert?

Wir haben auf der einen Seite Forscher eingeladen, Grundlagenforscher, aber der Schwerpunkt der Veranstaltung vor allem am Freitag und Samstag liegt auf den klinischen Belangen. Das heißt: Wie versorgen wir diese MIH-Zähne oder, wenn wir an Milchzähne denken, die MMH-Zähne am besten? Das ist ein klarer Schwerpunkt, zu dem die Zahnmediziner*innen Empfehlungen brauchen. Wann sprechen wir von MIH? Was ist MIH, und wie behandeln wir MIH? Insofern soll dort mit klinischen Handlungs-

anweisungen und Empfehlungen auch Fortbildung geleistet werden.

Wie sieht der weitere Weg der MIH-Forschung aus?

Es ist mittelfristig wichtig, dass wir die Ursachen der Erkrankung besser erkennen. Es handelt sich um ein multifaktorielles Geschehen, und insofern brauchen wir prospektive klinische Studien, um zu sehen, welche Stoffe können dabei spielentscheidend sein? Anders werden wir die Erkrankung und die Ausbreitung der Erkrankung nicht in den Griff bekommen! Wir haben eine Zunahme der Prävalenz, und das lässt sich auch dadurch erklären,

dass wir viel zu wenig über die Ursachen wissen. Insofern ist es das wichtige Ziel von AMIT, diese Gruppen zusammenzubringen. Aber auch in der Therapie sind einfach Defizite vorhanden, wenn man etwa an die Strukturbesonderheiten mit diesen „gefüllten“ Porositäten und diesem sehr weichen Zahnschmelz denkt. Wie können wir den stabilisieren? Auch diese Frage bleibt bislang unbeantwortet. Mit all diesen Problemfeldern wird AMIT sich intensiv auseinandersetzen.

Weitere Informationen unter:

www.amit-mih.org.

Das Interview mit Prof. Krämer führte Markus Brakel



**DEUTSCHE GESELLSCHAFT
FÜR ZAHN-, MUND- UND
KIEFERHEILKUNDE (DGZMK)**
Liesegangstr. 17a, 40211 Düsseldorf
Tel.: +49 (0)211 10198-0; Fax: -11
dgzmk@dgzmk.de; www.dgzmk.de

Bewerbung für den Videopreis 2022 der AG Keramik

Der etablierte „Videopreis der AG Keramik“ prämiert besonders praxisrelevante und innovative Kurzfilme rund um die Versorgung mit dentalen Keramiken.

Seit 10 Jahren prämiert die Arbeitsgemeinschaft für Keramik in der Zahnheilkunde e.V. (AG Keramik) mit ihrem Videopreis jährlich Kurzfilme mit Anregungen, Arbeitsschritten sowie Expertentipps rund um Restaurationen aus Keramik oder Hybridwerkstoffen. Die Kurzvideos sind als Kollegentipps beliebt und auf dem YouTube-Kanal der AG Keramik frei zugänglich.

Bis zum **Einsendeschluss am 30. Juni 2022** werden Arbeiten aus dem zahnmedizinischen und zahn-technischen Bereich angenommen, gerne auch von interdisziplinären Teams. Eine Fachjury, bestehend aus den Mitgliedern des wissenschaft-

lichen Beirats der AG Keramik sowie einem Zahntechnikermeister, entscheidet über die Vergabe des Preises. Die Verleihung erfolgt im Rahmen der AG-Keramik-Jahrestagung am 26. November 2022 in Hamburg.

Teilnahmebedingungen

Die Länge eines Videos darf 3 Minuten nicht überschreiten und ist im Format .mov, .mp4 oder .mpeg4 einzureichen. Im Video selbst dürfen die Autorin, der Autor oder das Team keinesfalls erkennbar sein. Gewünscht wird eine kommentierte Version.

Die Kurzfilme sind vorzugsweise über Internet oder postalisch auf einem elektronischen Datenträger an

die Geschäftsstelle zu übermitteln. Mehr Infos zur Bewerbung unter:

www.ag-keramik.de/videopreis



agkeramik

**ARBEITSGEMEINSCHAFT FÜR
KERAMIK IN DER
ZAHNHEILKUNDE E. V.**
Geschäftsstelle
Postfach 11 60, 76308 Malsch
info@ag-keramik.de
www.ag-keramik.de

Tagungskalender der DGZMK

Die Kongresse und Tagungen der DGZMK und ihrer Fachgesellschaften finden Sie unter www.dgzmk.de, hier unter dem Reiter „Zahnärzte“ und dann unter dem Reiter „Veranstaltungen“.



Politische Verstrickung von Zahnmedizinern im „Dritten Reich“ besonders groß

Prof. Dr. Dominik Groß legt den ersten Band des Personenlexikons von Zahnärzten und Kieferchirurgen in der Nazi- und Nachkriegszeit vor



Foto: Uniklinik RWTH Aachen

Autor des Lexikons der Zahnärzte und Kieferchirurgen im „Dritten Reich“ und im Nachkriegsdeutschland: Prof. Dr. Dominik Groß

Man darf das Werk als Lebenswerk bezeichnen, und es stellt einen bedeutsamen Beitrag zur Aufarbeitung der Geschichte dar: Das „Lexikon der Zahnärzte und Kieferchirurgen im ‚Dritten Reich‘ und im Nachkriegsdeutschland – Täter, Mitläufer, Oppositionelle, Verfolgte, Unbeteiligte“ von Prof. Dr. mult. Dominik Groß (Uni Aachen) ist mit dem ersten von 2 Bänden im Verlag Hentrich & Hentrich erschienen.

Das Werk ist das Ergebnis einer rund 3 Jahrzehnte währenden Beschäftigung des Autors mit der Geschichte der zahnärztlichen Berufsgruppe und ihrer Fachvertreter. Entstanden ist das erste Personenlexikon zu den historisch bedeutsamsten Repräsentanten der Zahnheilkunde. Es versammelt Zahnärzte, MKG-Chirurgen und Dentisten, die in der Weimarer Repu-

blik, im „Dritten Reich“ und in der Nachkriegszeit im deutschen Sprachraum wirkten bzw. hervortraten. Dabei fokussiert der gerade veröffentlichte erste Band auf Hochschullehrer und wissenschaftlich tätige Fachvertreter. Band 2 soll zum Jahreswechsel erscheinen. Beide Bände umfassen insgesamt mehr als 2000 Druckseiten. Da die NS-Zeit einen zentralen Betrachtungszeitraum bildet, thematisiert das Nachschlagewerk bei jeder biografisch erfassten Person auch ihr Verhältnis zum Nationalsozialismus. Dabei kommt es in vielen Fällen zu einer *erstmaligen* politischen Einordnung und in einigen weiteren Fällen zu einer Neubewertung der jeweiligen politischen Rolle. Weitere Schwerpunkte der Biografien bilden Karrierestationen, die fachlichen und berufspolitischen Leistungen und Publikationen, Ehrungen und Auszeichnungen sowie persönliche Netzwerkstrukturen und Loyalitätsbeziehungen.

Der Gesamteindruck, der sich beim Lesen bildet, ist eher verstörend: „Es hat sich gezeigt, dass die Karrieren nach 1933 meist nicht nach fachlichen Kriterien entschieden wurden und dass der Grad politischer Verstrickung unter Zahnärzten deutlich höher war, als noch vor wenigen Jahren angenommen“, fasst Groß zusammen. Er sei so hoch wie in der Medizin, in Teilbereichen sogar noch höher. Dabei habe die Medizin immer als Berufsgruppe mit der höchsten Quote an NS-Mitgliedschaften gegolten.

Die schlimmsten Verfehlungen begingen Groß zufolge die Zahnärzte in den KZ sowie diejenigen, die Zwangsterilisationen bei Patienten mit Lippen-Kiefer-Gaumenspalten angeord-

net hätten. Eine Divergenz zwischen wissenschaftlicher Leistung und politischem Engagement habe es in etlichen, nicht aber in allen Fällen gegeben – so seien Otto Walkhoff oder Otto Loos überzeugte Nazis gewesen und zugleich bedeutende Wissenschaftler.

Groß richtet den Blick nicht nur auf die Täter, sondern auch auf die Opfer des Nazi-Terrors, auf Entrechtete, Vertriebene oder ins KZ Deportierte. Und auch auf Wissenschaftler, die unbeteiligt waren. „Es ist kein klassisches ‚Täterbuch‘. Vielmehr finden alle Erwähnung, die im deutschen Sprachraum Bedeutung erlangten: Täter, Opfer und politisch Unbeteiligte – z.B. auch die Schweizer Zahnmediziner“, stellt Groß klar.

Eine der wichtigsten Lehren besteht für den Autor in der Erkenntnis, „dass Wissenschaft und Politik enger verflochten waren und sind, als wir das an den Universitäten wahr haben wollen“. Forschungsfreiheit sei deshalb ein besonders hohes Gut.

Markus Brakel



**DEUTSCHE GESELLSCHAFT
FÜR ZAHN-, MUND- UND
KIEFERHEILKUNDE (DGZMK)**
Liesegangstr. 17a, 40211 Düsseldorf
Tel.: +49 (0)211 10198-0; Fax: -11
dgzmk@dgzmk.de; www.dgzmk.de

Braucht Frontzahn-Ästhetik Kronen und Veneers?

Die Deutsche Gesellschaft für Zahnerhaltung (DGZ) gibt auf diese Frage auf ihrer 36. Jahrestagung vom 22. bis 24. September 2022 in Würzburg Antwort.



Abb.: Gabriel Krastl

Für lückig stehende Frontzähne gibt es ästhetische, minimalinvasive Methoden, die gut erlernbar sind.

Die Teilnehmerinnen und Teilnehmer der 36. Jahrestagung der DGZ können sich auf ästhetische Lösungen für lückig stehende Frontzähne, Struktur-anomalien, Erosionen, für Zähne nach Trauma und für endodontisch behandelte Zähne bei minimalem Eingriff freuen. „Eine dentale Ästhetik mit minimal- oder noninvasiven Methoden herzustellen, ist gut erlernbar und nicht nur etwas für besonders begabte Kolleginnen und Kollegen“, sagt Tagungspräsident Professor Gabriel Krastl, Klinikdirektor der Poliklinik für Zahnerhaltung und Parodontologie des Universitätsklinikums in Würzburg. „Zahnärztinnen und Zahnärzte werden gute Erfolge erzielen, wenn sie die Schritte einhalten und sich zu Beginn etwas mehr Zeit für die direkten Restaurationen geben.“

Ästhetik ohne Kronen ist Programm

Das wissenschaftliche Programm der in Teilen hybrid angebotenen Tagung mit dem Titel „Ästhetik ... ohne Kronen“, mit hochkarätigen Referentinnen und Referenten aus dem In- und Ausland, hält für die Teilnehmenden viele praktisch umsetzbare Anleitungen für eine gelungene Ästhetik bereit. Es wurde mit den Verbundpartnern Deutsche Gesellschaft für Präventivzahnmedizin (DGPZM) und Deutsche Gesellschaft für Restaurati-

ve und Regenerative Zahnerhaltung (DGR²Z) sowie mit der Stiftung innovative Zahnmedizin (SIZ) gestaltet. Der Medizinethiker Professor Dominik Groß aus Aachen beleuchtet darüber hinaus ethische Aspekte von zahnärztlichen Behandlungen, die die Ästhetik verbessern, aber nicht zahnmedizinisch notwendig sind.

„Tag der Wissenschaft“ am 22. September

Der DGZ-Jahrestagung vorgeschaltet ist der 7. „Tag der Wissenschaft“ am 22. September 2022, der ausschließlich in Präsenz stattfindet. Dort stellen Nachwuchswissenschaftlerinnen und -wissenschaftler der universitären Standorte ihre aktuellen Forschungsarbeiten aus den Bereichen Zahnerhaltung, restaurative Zahnheilkunde, Prävention und Endodontie vor. Nähere Informationen zum wissenschaftlichen Programm, Rahmenprogramm und Anmeldeöglichkeiten finden Interessierte auf der Kongress-Homepage unter www.dgz-kongress.de.

Symposien der DGZMB und DGDH

Wie bereits im letzten Jahr werden die Deutsche Gesellschaft Zahnmedizin für Menschen mit Behinderung oder besonderem medizinischen Unterstützungsbedarf (DGZMB) und die

Deutsche Gesellschaft für Dentalhygieniker/Innen (DGDH) das Programm als Kongresspartner mit eigenen Symposien ergänzen.

Dr. Kerstin Albrecht
Prof. Dr. Gabriel Krastl

Ausschreibung des DGZ-Publikationspreises

Die DGZ schreibt den DGZ-Publikationspreis 2022 für die beste Veröffentlichung aus der Fächergruppe Zahnerhaltung aus. Der Preis ist mit 3.000 Euro dotiert. Die Bewerbungsfrist endet am 30. Juni 2022.

Bewerbungen können online an info@dgz-online.de eingereicht werden. Informationen zu den Teilnahmebedingungen unter www.dgz-online.de/zahnaerzte/preise-und-foerderungen.



DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR ZAHNERHALTUNG E.V.
Pfaffenwiese 3, 65931 Frankfurt a.M.
Tel.: +49 (0)69 300 60-473; Fax: -477
info@dgz-online.de; www.dgz-online.de

2022

25.06.2022 (Sa 09.30–17.00 Uhr)

Thema: Notfallmanagement nach Frontzahntrauma und Behandlung von Spät-komplikationen nach Zahntrauma

Referent: Prof. Dr. Johannes Mente und Team, Prof. Dr. Christopher J. Lux

Ort: ONLINE-KURS

Gebühren: 400,00 €, 370,00 €/Mitglied DGZMK, 350,00 €/Mitglied APW

Kursnummer: ZF2022CE01

Fortbildungspunkte: 8

16.–17.09.2022 (Fr 14.00–18.30 Uhr, Sa 10.00–17.00 Uhr)

Thema: SINUSLIFT INTENSIV – mit Live-OP, Hands-on, Piezochirurgie und Endoskopie

Referent: Dr. Martin Schneider

Ort: Köln

Gebühren: 700,00 €, 670,00 €/Mitglied DGZMK, 650,00 €/Mitglied APW

Kursnummer: ZF2022CC1

Fortbildungspunkte: 14

17.09.2022 (Sa 09.00–17.00 Uhr)

Thema: Der non-odontogene Zahnschmerz – erkennen, verstehen, behandeln

Referent: Dr. Bruno Imhoff

Ort: Köln

Gebühren: 480,00 €, 440,00 €/Mitglied DGZMK, 400,00 €/Mitglied APW

Kursnummer: ZF2022CF02

Fortbildungspunkte: 8

23.–24.09.2022 (Fr 13.00–20.00 Uhr, Sa 09.00–18.00 Uhr)

Thema: Bisshebung im Abrasions- und Erosionsgebiss mit Vollkeramik. Hands-on-Kurs

Referent: Prof. Dr. Jürgen Manhart

Ort: München

Gebühren: 910,00 €, 890,00 €/Mitglied DGZMK, 830,00 €/Mitglied APW

Kursnummer: ZF2022CW01

Fortbildungspunkte: 18

23.–24.09.2022 (Fr 13.30–19.00 Uhr, Sa 09.00–13.30 Uhr)

Thema: Evidenzbasierte Diagnostik und Therapie der Myoarthropathien des Kau-systems. Ein praxisorientierter Kurs.

Referent: Prof. Dr. Jens Christoph Türp

Ort: ONLINE-KURS

Gebühren: 520,00 €, 480,00 €/Mitglied DGZMK, 440,00 €/Mitglied APW

Kursnummer: ZF2022CF03

Fortbildungspunkte: 15

24.09.2022 (Sa 09.00–17.00 Uhr)

Thema: Update moderne regenerative Verfahren in der PA-Chirurgie – ein Praxiskonzept

Referentin: PD Dr. Amelie Bäumer-König, M. Sc.

Ort: Bielefeld

Gebühren: 550,00 €, 520,00 €/Mitglied DGZMK, 500,00 €/Mitglied APW

Kursnummer: ZF2022CP02

Fortbildungspunkte: 9

30.09.–01.10.2022 (Fr 14.00–19.00 Uhr, Sa 09.00–16.30 Uhr)

Thema: White Aesthetics under your control

Referent: Dr. Marcus Striegel, Dr. Thomas Schwenk, Dr. Florian Göttfert

Ort: Nürnberg

Gebühren: Teilnehmer, die diesen Kurs über die APW buchen, erhalten exklusiv einen Rabatt von 5 % auf die reguläre Kursgebühr von 1150,00 € zzgl. der gesetzlichen USt. und zahlen 1092,50 € zzgl. der gesetzlichen USt.

Kursnummer: ZF2022CÄ02

Fortbildungspunkte: 15

21.–22.10.2022 (Fr 14.00–19.00 Uhr, Sa 09.00–16.30 Uhr)

Thema: Red Aesthetics under your control

Referent: Dr. Marcus Striegel, Dr. Thomas Schwenk, Dr. Florian Göttfert

Ort: Nürnberg

Gebühren: Teilnehmer, die diesen Kurs über die APW buchen, erhalten exklusiv einen Rabatt von 5 % auf die reguläre Kursgebühr von 1150,00 € zzgl. der gesetzlichen USt. und zahlen 1092,50 € zzgl. der gesetzlichen USt.

Kursnummer: ZF2022CÄ03

Fortbildungspunkte: 15

22.10.2022 (Sa 09.00–17.00 Uhr)

Thema: Klinische Parodontaltherapie jenseits der Kürette: Antibiotika, Probiotika und Ernährungslenkung

Referent: Prof. Dr. Ulrich Schlagenhaut

Ort: ONLINE-KURS

Gebühren: 350,00 €, 320,00 €/Mitglied DGZMK, 300,00 €/Mitglied APW

Kursnummer: ZF2022CP03

Fortbildungspunkte: 8

05.11.2022 (Sa 09.00–17.00 Uhr)

Thema: Funktionstherapie – was funktioniert in der Praxis?

Referent: Dr. Christian Mentler, Dr. Bruno Imhoff

Ort: ONLINE-KURS

Gebühren: 530,00 €, 490,00 €/Mitglied DGZMK, 450,00 €/Mitglied APW

Kursnummer: ZF2022CF04

Fortbildungspunkte: 8

11.–12.11.2022 (Fr 14.00–19.00 Uhr, Sa 09.00–16.30 Uhr)

Thema: Function under your control

Referent: Dr. Marcus Striegel, Dr. Thomas Schwenk, Dr. Florian Göttfert

Ort: Nürnberg

Gebühren: Teilnehmer, die diesen Kurs über die APW buchen, erhalten exklusiv einen Rabatt von 5 % auf die reguläre Kursgebühr von 1150,00 € zzgl. der gesetzlichen USt. und zahlen 1092,50 € zzgl. der gesetzlichen USt.

Kursnummer: ZF2022CF

Fortbildungspunkte: 15

03.12.2022 (Sa 09.00–17.00 Uhr)

Thema: Probleme in der Endodontie: Prävention, Diagnostik, Management

Referent: Prof. Dr. Michael Hülsmann, Prof. Dr. Edgar Schäfer

Ort: ONLINE-KURS

Gebühren: 400,00 €, 370,00 €/Mitglied DGZMK, 350,00 €/Mitglied APW

Kursnummer: ZF2022CE02

Fortbildungspunkte: 8

09.12.2022 (Fr 10.00–17.00 Uhr)

Thema: Minimalinvasive festsitzende Prothetik – das Erfolgskonzept für die moderne Praxis

Referent: Prof. Dr. Daniel Edelhoff

Ort: München

Gebühren: 550,00 €, 520,00 €/Mitglied DGZMK, 500,00 €/Mitglied APW

Kursnummer: ZF2022CW02

Fortbildungspunkte: 8

Anmeldung/Auskunft:

**Akademie Praxis und Wissenschaft
Liesegangstr. 17a, 40211 Düsseldorf**

Tel.: 0211 66 96 73-0; Fax: -31

E-Mail: apw.fortbildung@dgzmk.de

DZZ – Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift / German Dental Journal**Herausgebende Gesellschaft / Publishing Institution**

Deutsche Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde e.V. (Zentralverein, gegr. 1859), Liesegangstr. 17a, 40211 Düsseldorf, Tel.: +49 211 610198-0, Fax: +49 211 610198-11

Mitherausgebende Gesellschaften / Affiliations

Die Zeitschrift ist Organ folgender Gesellschaften und Arbeitsgemeinschaften:

Deutsche Gesellschaft für Parodontologie e.V.
Deutsche Gesellschaft für Prothetische Zahnmedizin und Biomaterialien e.V.
Deutsche Gesellschaft für Zahnerhaltung e.V.
Deutsche Gesellschaft für Funktionsdiagnostiktherapie in der DGZMK
Deutsche Gesellschaft für Kinderzahnheilkunde
Arbeitsgemeinschaft für Kieferchirurgie
Arbeitsgemeinschaft für Röntgenologie in der DGZMK
Arbeitsgemeinschaft für Arbeitswissenschaft und Zahnheilkunde
Arbeitsgemeinschaft für Grundlagenforschung

Verantwortlicher Redakteur i. S. d. P. / Editor in Chief

Prof. Dr. Werner Geurtsen,
Elly-Beinhorn-Str. 28, 30559 Hannover;
Prof. Dr. Guido Heydecke,
Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik, Martinistr. 52, 20246 Hamburg; (heftverantwortlich, V.i. s. d. P.)

Beirat / Advisory Board

Beirat der DGZMK / Advisory Board of the GSDOM
Prof. Dr. Anne Wolowski

Nationaler Beirat / National Advisory Board

N. Arweiler, J. Becker, T. Beikler, W. Buchalla, C. Dörfer, P. Eickholz, C. P. Ernst, R. Frankenberger, P. Gierthmühlen, M. Gollner, B. Greven, K. A. Grötz, R. Haak, B. Haller, Ch. Hannig, M. Hannig, D. Heide- mann, E. Hellwig, R. Hickel, S. Jepsen, B. Kahl-Nieke, M. Karl, M. Kern, J. Klimek, F.-J. Kramer, G. Krastl, K.-H. Kunzelmann, H. Lang, G. Lauer, J. Lisson, R. G. Luthardt, J. Meyle, P. Ottl, W. H.-M. Raab, E. Schäfer, U. Schlagenhauf, H. Schliephake, G. Schmalz, M. Schmitter, F. Schwendicke, H.-J. Staehle, H. Stark, P. Tomakidi, W. Wagner, M. Walter, A. Wiegand, B. Wöstmann, D. Wolff, A. Wolowski

Internationaler Beirat / International Advisory Board

K. Alt, Th. Attin, N. Creugers, T. Flemmig, A. Jokstad, A. M. Kielbassa, A. Mehl, I. Naert, E. Nkenke, J. C. Türp

Verlag / Publisher

Deutscher Ärzteverlag GmbH
Dieselstr. 2, 50859 Köln; Postfach 40 02 65, 50832 Köln
Tel.: +49 2234 7011-0; Fax: +49 2234 7011-6508.
www.aerzteverlag.de

Geschäftsführung / Executive Board

Jürgen Führer, Patric Tongbhoyai

Produktmanagement / Product Management

Carmen Ohlendorf, Tel.: +49 02234 7011-357;
Fax: +49 2234 7011-6357; ohlendorf@aerzteverlag.de

Lektorat / Editorial Office

Susanne Neumann, Tel.: +49 2234 7011-219
neumann.extern@aerzteverlag.de
Thomas Volmert, Tel.: +49 2234 7011-253
volmert@aerzteverlag.de

Internet

www.online-dzz.de

Abonnementenservice / Subscription Service

Tel. +49 2234 7011-520, Fax +49 2234 7011-470,
E-Mail: abo-service@aerzteverlag.de

Erscheinungsweise / Frequency

6-mal jährlich
Jahresbezugspreis Inland € 119,00,
Ausland € 135,20, ermäßigter Preis für Studenten
jährlich € 72,00 (Inland), € 88,20 (Ausland),
Einzelheftpreis € 19,90 (Inland), € 22,60 (Ausland)
Preise inkl. gesetzl. MwSt. und Versand
Die Kündigungsfrist beträgt 6 Wochen zum Ende
des Kalenderjahres. Gerichtsstand Köln. „Für Mit-
glieder der Deutschen Gesellschaft für Zahn-,
Mund- und Kieferheilkunde e.V. ist der Bezug im
Mitgliedsbeitrag enthalten“.

Verantwortlich für den Anzeigenteil /

Advertising Coordinator
Carmen Ohlendorf, Tel.: +49 02234 7011-357;
Fax: +49 2234 7011-6357; ohlendorf@aerzteverlag.de

Key Account Management

KAM, Dental internationale Kunden,
Andrea Nikuta-Meerloo, Tel.: +49 2234 7011-308,
nikuta-meerloo@aerzteverlag.de

Verlagsrepräsentanten Industrieanzeigen / Commercial Advertising Representatives

Nord: Götz Kneiseler,
Uhlandstr. 161, 10719 Berlin,
Tel.: +49 30 88682873, Fax: +49 30 88682874,
E-Mail: kneiseler@aerzteverlag.de
Süd: Ratko Gavran,
Racine-Weg 4, 76532 Baden-Baden,
Tel.: +49 7221 996412, Fax: +49 7221 996414,
E-Mail: gavran@aerzteverlag.de

Herstellung / Production Department

Alexander Krauth, Tel.: +49 2234 7011-278,
krauth@aerzteverlag.de

Layout

Larissa Arts

Druck / Print

L.N. Schaffrath Druck Medien,
Marktweg 42–50, 47608 Geldern

Bankverbindungen / Account

Deutsche Apotheker- und Ärztebank, Köln,
Kto. 010 1107410
(BLZ 370 606 15),
IBAN: DE 2830 0606 0101 0110 7410,
BIC: DAAEEDDD, Postbank Köln 192 50–506
(BLZ 370 100 50),
IBAN: DE 8337 0100 5000 1925 0506,
BIC: PBNKDEFF

Zurzeit gilt **Anzeigenpreisliste** Nr. 21, gültig ab
01.01.2022

Auflage lt. IVW 1. Quartal 2022

Druckauflage: 20.750 Ex.

Verbreitete Auflage: 20.250 Ex.

Verkaufte Auflage: 20.131 Ex.

Diese Zeitschrift ist der IVW-Informationsgemein-
schaft zur Feststellung der Verbreitung von Wer-
beträgern e. V. angeschlossen.

Mitglied der Arbeitsgemeinschaft LA-MED Kom-
munikationsforschung im Gesundheitswesen e. V.
77. Jahrgang

ISSN print 0012-1029

ISSN online 2190-7277

Urheber- und Verlagsrecht /**Copyright and Right of Publication**

Diese Publikation ist urheberrechtlich geschützt,
und alle Rechte sind vorbehalten. Diese Publikation
darf daher außerhalb der Grenzen des Urheber-
rechts ohne vorherige, ausdrückliche, schriftliche
Genehmigung des Verlags weder vervielfältigt
noch übersetzt oder transferiert werden, sei es im
Gesamten, in Teilen oder irgendeiner anderen Form.
Die Wiedergabe von Warenbezeichnungen, Han-
delsnamen und sonstigen Kennzeichen in dieser
Publikation berechtigt nicht zu der Annahme, dass
diese frei benutzt werden dürfen. Zumeist handelt
es sich dabei um Marken und sonstige geschützte
Kennzeichen, auch wenn sie nicht als solche be-
zeichnet sind.

Haftungsausschluss / Disclaimer

Die in dieser Publikation dargestellten Inhalte die-
nen ausschließlich der allgemeinen Information
und stellen weder Empfehlungen noch Handlungs-
anleitungen dar. Sie dürfen daher keinesfalls unge-
prüft zur Grundlage eigenständiger Behandlungen
oder medizinischer Eingriffe gemacht werden. Der
Benutzer ist ausdrücklich aufgefordert, selbst die in
dieser Publikation dargestellten Inhalte zu prüfen,
um sich in eigener Verantwortung zu versichern,
dass diese vollständig sind sowie dem aktuellen Er-
kenntnisstand entsprechen, und im Zweifel einen
Spezialisten zu konsultieren. Verfasser und Verlag
übernehmen keinerlei Verantwortung oder Ge-
währleistung für die Vollständigkeit, Richtigkeit
und Aktualität der in dieser Publikation dargestell-
ten Informationen. Haftungsansprüche, die sich
auf Schäden materieller oder ideeller Art beziehen,
die durch die Nutzung oder Nichtnutzung der in
dieser Publikation dargestellten Inhalte oder Teilen
davon verursacht werden, sind ausgeschlossen, so-
fern kein nachweislich vorsätzliches oder grob fahr-
lässiges Verschulden von Verfasser und/
oder Verlag vorliegt.

© Copyright by Deutscher Ärzteverlag GmbH, Köln

Geistlich Bio-Oss Pen[®]

Bekannt, geschätzt
... und jetzt noch besser!

Kolben

Geringere Fertigungstoleranzen erlauben präzisere Stempelführung.

Fingerauflage

Für noch mehr Kontrolle durch sicherere Führung des Kolbens.

Schutz- und Filterkappe

Sicheres Abschrauben durch größeren Abstand zwischen Schutz- und Filterkappe.



Geistlich Biomaterials

Vertriebsgesellschaft mbH
Schöckstraße 4 | 76534 Baden-Baden
Tel. 07223 9624-0 | Fax 07223 9624-10
info@geistlich.de | www.geistlich.de

Bitte senden Sie mir die Broschüre zu:

- Produktkatalog
- Flyer Meta Technologies wird ein Teil der Geistlich Familie