

PHILIPPE PERRIN
MARTINA EICHENBERGER
KLAUS W. NEUHAUS
ADRIAN LUSSI

Klinik für Zahnerhaltung,
Präventiv- und Kinderzahn-
medizin, Universität Bern, Bern

KORRESPONDENZ

Dr. med. dent. Philippe Perrin
Klinik für Zahnerhaltung,
Präventiv- und Kinderzahn-
medizin
Freiburgstrasse 7
3010 Bern
Schweiz
Tel. +41 31 632 25 70
Fax +41 31 632 98 75
E-Mail: philippe.perrin@
zmk.unibe.ch

SWISS DENTAL JOURNAL SSO 126:
229–235 (2016)
Zur Veröffentlichung angenom-
men: 14. März 2015

Sehschärfe und Vergrößerungshilfen in der Zahnmedizin

Eine Literaturübersicht

SCHLÜSSELWÖRTER

Sehtest,
Vergrößerung,
Lupe,
Mikroskop

ZUSAMMENFASSUNG

Im Rahmen dieser Literaturübersicht werden Studien zur Sehschärfe in der Zahnmedizin zusammengefasst und ihre klinische Relevanz diskutiert. Einbezogen werden dabei Arbeiten, die auf objektiven Sehtests in zahnärztlicher Arbeitsdistanz beruhen. Die vorhandenen Studien zeigen, dass es grosse interindividuelle Unterschiede bei der Detailerkennung im zahnärztlichen Arbeitsfeld gibt. Die Alterssichtigkeit führt nach dem 40. Altersjahr zu unvermeidbaren visuellen Defiziten. Im Laufe der beruflichen Karriere sollte der Nah-Visus deshalb regelmässig mit geeigneten Tests bestimmt werden. Visuelle Defizite in der Zahnmedizin können mit Vergrößerungshilfen kompensiert werden. Dabei

muss zwischen Galilei- und Kepler-/Prismen-Lupen unterschieden werden. Die leichten, aber optisch schwächeren Galilei-Lupen ermöglichen eine aufrechte Körperhaltung und nach dem 40. Altersjahr die Kompensation der Sehleistung auf das Niveau von jungen Zahnärzten. Die optischen Vorteile der Kepler-/Prismen-Lupen erhöhen die Detailerkennung für alle Altersgruppen mit dem Nachteil eines höheren Gewichtes. Das Operationsmikroskop ist sämtlichen Lupenbrillen überlegen und besticht mit hervorragender Detailerkennung auch bei geringer Vergrößerung. Für die Visualisierung in der Endodontologie ist das Operationsmikroskop unverzichtbar.

Einleitung

Vergrößernde optische Hilfsmittel gehören zur Grundausstattung in der Mikrochirurgie und ermöglichen Uhrmachern seit mehr als einem Jahrhundert ihre präzise Arbeit. Die empirische Erkenntnis, dass die Grenzen der feinmotorischen Präzision weniger von den Händen als viel mehr von den Augen bestimmt werden, ist entsprechend alt. In der Zahnmedizin hat die Verwendung von Lupenbrillen oder Mikroskopen in den vergangenen Jahren Eingang in die Lehrmeinung vieler Universitäten gefunden und wird auch von Herstellerseite intensiv beworben. Entsprechend finden diese Vergrößerungshilfen zuneh-

mend Verbreitung in den Zahnarztpraxen (MERANER & NASE 2008, FAROOK ET AL. 2013, EICHENBERGER ET AL. 2015). Fast alle Benutzer von Lupen und Mikroskopen sind der festen Überzeugung, dass diese Instrumente Vorteile mit sich bringen und sowohl die Qualität der Arbeit als auch die Ergonomie verbessern (MERANER & NASE 2008, EICHENBERGER ET AL. 2015). Die Diskrepanz zwischen diesem subjektiven Eindruck und der wissenschaftlichen Evidenz dazu ist jedoch eklatant. Die zahnärztliche Literatur zum Thema beschränkt sich grösstenteils auf Fallberichte, Übersichtsartikel oder Expertenmeinungen und ist von entsprechend geringer sogenannter externer Evidenz (VAN GOGSWAARDT

1990, SYME ET AL. 1997, MILLAR ET AL. 1998, PERRIN ET AL. 2000, FORGIE ET AL. 2001, FRIEDMAN 2004, JAMES & GILMOUR 2010). Zudem zeigen die wenigen relevanten Studien aus den Bereichen Endodontologie, Kariesdiagnostik und restaurativer Zahnmedizin teilweise widersprüchliche Resultate (LUSSI ET AL. 1993, HAAK ET AL. 2002, LUSSI ET AL. 2003, ZAUGG ET AL. 2004, ERTEN ET AL. 2005, TZANETAKIS ET AL. 2007, MENDES ET AL. 2006, KEINAN ET AL. 2009, KOTTOOR ET AL. 2010, MITROPOULOS ET AL. 2012). Dies hat offen-

Tab. I Glossar mit relevanten Begriffen zu Visus und Vergrößerungshilfen.

Visus, Sehschärfe: Schwellenwert der Fähigkeit, feine Details eines Objektes wahrzunehmen, deren Erkennbarkeit vom Sehwinkel abhängt (GOERSCH 2004). Der mittels Sehtest bestimmbare Wert bezieht sich auf den Winkel der einfallenden Strahlen, ist dimensionslos und unabhängig von der Betrachtungsdistanz. Der reziproke Wert erhöht sich mit zunehmender Sehschärfe.

Detailerkennung: Im Gegensatz zum Visus als relatives Winkelmass bezieht sich die Detailerkennung auf den Abstand der getrennt wahrgenommenen Struktur als lineare Dimension. Die Detailerkennung ist direkt abhängig von der Betrachtungsdistanz: je kleiner die Distanz, desto grösser die Abbildung (linear) und die Lichtmenge (quadratisch). Die reziproke Dimension der erkannten Struktur erhöht sich mit zunehmender Detailerkennung (mm⁻¹).

Akkommodation: Brechwertänderung des Auges zur Einstellung auf eine bestimmte Entfernung des Objektes.

Alterssichtigkeit/Presbyopie: Die Alterssichtigkeit ist gekennzeichnet durch fortschreitenden Verlust der Akkommodationsbreite bei Sklerosierung der Augenlinse, durch zunehmende Blendungsempfindlichkeit und durch verminderte Kontrastsehschärfe. Die Presbyopie beginnt um das 40. Altersjahr (GILBERT 1980, WOO & ING 1988, POINTER 1995, EICHENBERGER ET AL. 2011), wird jedoch meist erst Jahre später aufgrund von Einschränkungen im Alltag erkannt und korrigiert.

Einzellinse: Einfachster und kostengünstigster Lupentyp. Aus optischen Gründen wird der Arbeitsabstand mit zunehmender Vergrößerung kleiner. Für die Zahnmedizin resultieren daraus ab Faktor 2x ergonomische Probleme.

Galilei-Lupen: Der häufigste Lupentyp in der Zahnmedizin. Galilei-Lupen können an ihrer kegelförmigen Gestalt erkannt werden. Eine Kombination konvexer und konkaver Linsen bilden das optische System, dessen Arbeitsabstand den ergonomischen Bedürfnissen angepasst werden kann. Der Vergrößerungsfaktor ist physikalisch auf 2,5x beschränkt, kann jedoch mit optischen Kompromissen (eingeschränktes Gesichtsfeld, Randunschärfe) bis auf 3,5x erhöht werden.

Kepler- oder Prismen-Lupen: Sie können an ihrer zylindrischen Form erkannt werden. Kepler-/Prismen-Lupen enthalten ein komplexes konvexes optisches System aus Linsen und Prismen, das eine freie Wahl der Vergrößerung und des Arbeitsabstandes erlaubt. Der bevorzugte Vergrößerungsbereich in der Zahnmedizin liegt zwischen 3,5x und 6x, um den Einfluss der eingeschränkten Tiefenschärfe gering zu halten. Die deutlichen optischen Vorteile zu den Galilei-Lupen werden mit einem höheren Gewicht und Preis erkauft.

Operationsmikroskop: Freie Wahl der Vergrößerung und orthograde Ausleuchtung des Arbeitsfeldes. Aus Gründen der Tiefenschärfe und der Übersicht kommt in der Zahnmedizin meist eine Vergrößerung zwischen 4x und 10x zur Anwendung. Der Arbeitsabstand wird durch Wahl des Objektivs an die Körpergrösse des Behandlers angepasst. Das Operationsmikroskop hat bedeutende ergonomische Vorteile durch eine aufrechte Arbeitshaltung (Rücken und Halswirbelsäule) und durch die ermüdungsfreie, parallel geführte Sicht ohne Akkommodation.

sichtlich auch methodische Ursachen, weil adäquat sensitive Nahsehtests für zahnmedizinische Bedürfnisse lange fehlten (EICHENBERGER ET AL. 2011). In entsprechenden Studien waren somit Rückschlüsse auf den Visus und dessen Beeinflussung durch Vergrößerungshilfen nur indirekt möglich. Als Ausnahme ist eine Studie aus Neuseeland zu erwähnen, bei der normal gedruckte Sehtests in einer Apparatur durch Linsen zusätzlich verkleinert und der Nah-Visus einer Gruppe von Zahnärzten und Zahnmedizin-Studenten bestimmt wurde (BURTON & BRIDGMAN 1990). Ein Nachteil dieser Methode ist die fehlende Übertragbarkeit in die klinische Situation.

In einer Reihe von aktuellen Studien wurden neuartige, miniaturisierte Sehtests für die Zahnmedizin validiert (EICHENBERGER ET AL. 2011) und zeigten sowohl unter standardisierten als auch unter klinischen Bedingungen erstaunliche Unterschiede in der Sehschärfe der getesteten Zahnärzte und einen grossen Einfluss der Alterssichtigkeit (EICHENBERGER ET AL. 2013, PERRIN ET AL. 2014A, PERRIN ET AL. 2014B, EICHENBERGER ET AL. 2015).

Ziel der vorliegenden Übersichtsarbeit ist eine Zusammenfassung der wichtigsten Erkenntnisse zum zahnärztlichen Visus, welche aus den wissenschaftlichen Studien mit objektiven Nahsehtests gewonnen werden konnten. Die für die vorliegende Arbeit relevanten Begriffe sind im Glossar (Tab. I) definiert.

Material und Methoden

In der Datenbank PubMed wurde eine Literatursuche für den Zeitraum von 1950 bis Mai 2015 mit den Suchbegriffen «*visual acuity and dentistry*» und «*near vision test and dentistry*» durchgeführt. Einschlusskriterium war ein durchgeführter Sehtest der Probanden in zahnärztlicher Arbeitsdistanz. Es wurden nur Originalarbeiten ausgewertet und diskutiert. Zusätzlich wurde eine Handsuche der Referenzen der eingeschlossenen Originalarbeiten durchgeführt. Es wurden zudem Publikationen in diese Arbeit eingeschlossen, welche die Einschlusskriterien zwar nicht erfüllen, aber zum Verständnis der diskutierten Studien beitragen.

Resultat

Die PubMed-Literatursuche ergab insgesamt 228 Arbeiten (Abb. 1). Nach Elimination der doppelt vorkommenden Titel verblieben 223 Publikationen, wovon 200 Arbeiten vom gesuchten Thema abweichend waren. Von den 23 Abstracts wurden acht Literaturübersichten und sieben Arbeiten ohne Nahsehtest ausgeschlossen. Von den übrigen acht Artikeln erfüllten fünf das Suchkriterium eines durchgeführten Nahsehtests. Eine dieser Arbeiten stammt aus einer Forschungsgruppe in Neuseeland (BURTON & BRIDGMAN 1990), die anderen vier Publikationen aus unserer eigenen Forschungsgruppe (EICHENBERGER ET AL. 2011, EICHENBERGER ET AL. 2013, PERRIN ET AL. 2014A, PERRIN ET AL. 2014B).

Diskussion Nahsehtests

Die Messung der Sehschärfe in zahnärztlicher Arbeitsdistanz bedingt genügend kleine Sehtests, um Resultate der ganzen Bandbreite zu erhalten. Dies ist mit klassischen Nahsehtests aufgrund der Grenzen traditioneller Buchdrucktechnik nicht möglich (RAWLINSON 1988, RAWLINSON 1993, FORGIE ET AL. 2001). Eine Voraussetzung für aussagekräftige Studien über den zahnärztlichen Visus und den Einfluss von Vergrößerungshilfen ist deshalb die Entwicklung von miniaturisierten Sehtests in geeig-

meter Dimension. Burton und Bridgman verkleinerten durch passende Linsen einen gedruckten Sehtest und konnten damit in zahnärztlicher Arbeitsdistanz den Nah-Visus evaluieren (BURTON & BRIDGMAN 1990). Wie erwähnt kann mit dieser Technik aber die klinische Situation nicht simuliert werden.

Eine Simulation der klinischen Situation ist auf der Basis von Diapositiv-Filmen möglich (EICHENBERGER ET AL. 2011, EICHENBERGER ET AL. 2013, PERRIN ET AL. 2014A, EICHENBERGER ET AL. 2015). Mit einer standardisierten Aufnahmetechnik können darauf Sehtests in definierten Grössen abgebildet werden, bis hin zu mehrzeiligen Sehtafeln innerhalb eines einzigen Millimeters. Diese Sehtests sind transparent und können im Durchlicht bei einem fixen Abstand von 30 cm über dem Röntgenbetrachter verwendet werden (Abb. 2). Sie bieten damit standardisierte Voraussetzungen, um den individuellen Nah-Visus, den Einfluss des Alters und der Vergrößerungshilfen zu bestimmen (EICHENBERGER ET AL. 2011, PERRIN ET AL. 2014B).

Die miniaturisierten Sehtafeln können aber auch ausgeschnitten, weiss hinterlegt und in Zahnkavitäten eines Phantomkopfs geklebt werden (Abb. 3). Damit können Sehtests intraoral am eigentlichen Ort des Interesses und damit kliniknah durchgeführt werden (Abb. 4) (EICHENBERGER ET AL. 2013, PERRIN

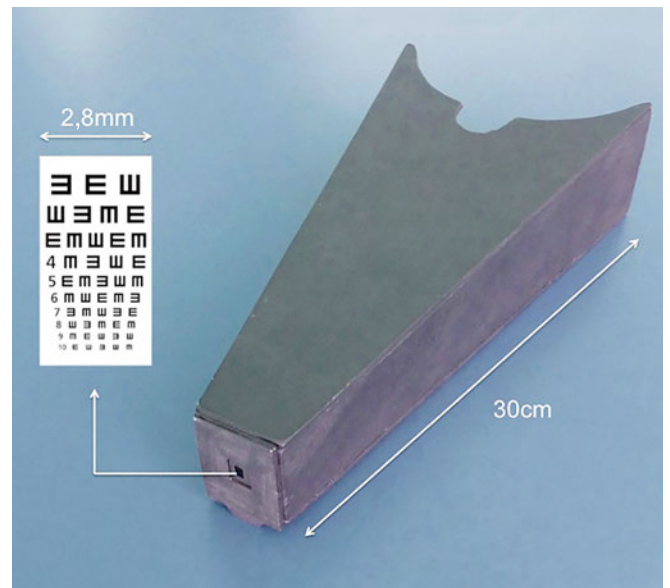


Abb. 2 Der transparente Sehtest befindet sich an der Spitze eines Trichters und wird über dem Röntgenbetrachter zur standardisierten Bestimmung des Nah-Visus verwendet.

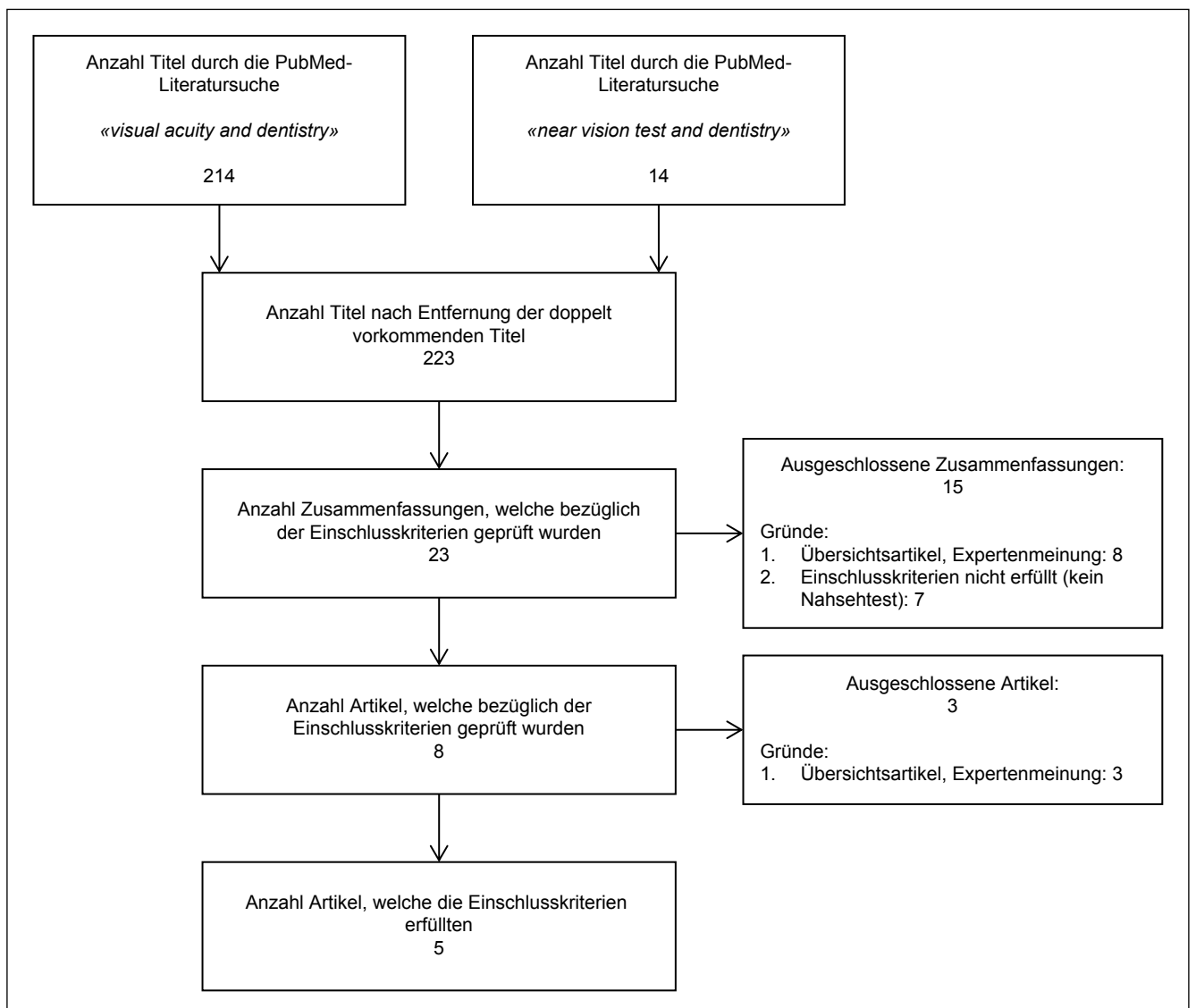


Abb. 1 Fluss-Diagramm der PubMed-Literatursuche

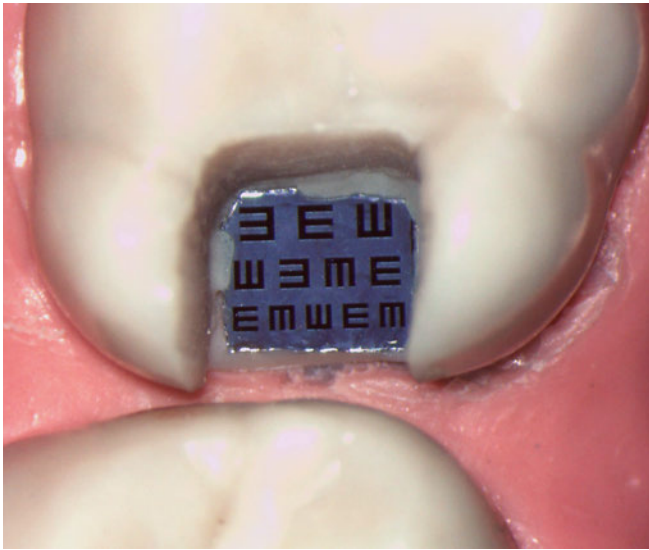


Abb. 3 Um die klinische Situation zu simulieren, kann der Sehtest in Zahnkavitäten eines Phantomkopfes fixiert werden.



Abb. 4 Simulation der klinischen Situation mit dem Phantomkopf als Patient

ET AL. 2014A, EICHENBERGER ET AL. 2015). Klinisch relevant ist hier nicht der Visus, sondern die Frage, ob eine bestimmte Struktur unter den gegebenen Verhältnissen erkannt werden kann. Diese Detailerkennung ist durch eine Reihe von Variablen geprägt. Während der Arbeitsabstand, die optischen Hilfsmittel und die Lichtquelle definiert werden können, sind beispielsweise die intraoralen Lichtverhältnisse am Sehtest beeinflusst durch die Position des Spiegels, durch die genaue Lokalisation der Tests und durch mögliche Lichtreflexe.

Einfluss des Individuums

Bei rund 300 Zahnärztinnen und Zahnärzten wurden mit den beschriebenen miniaturisierten Sehtafeln standardisierte Messungen in zahnärztlicher Arbeitsdistanz durchgeführt (EICHENBERGER ET AL. 2011, EICHENBERGER ET AL. 2013, PERRIN ET AL. 2014B). Mit Arbeitsbrille, aber ohne Vergrößerungshilfen zeigten diese Messungen stets ein ähnliches Resultat: Die Detailerkennung, also die Dimension der kleinsten erkannten Struktur, variierte unabhängig vom Alter oder von der Herkunft aus Universität oder Privatpraxis jeweils in der Grössenordnung von 250 bis 300%. Das bedeutet, dass es in jedem gemessenen Kollektiv Zahnärzte oder Studierende gab, die 2–3× kleinere Strukturen sahen als andere (EICHENBERGER ET AL. 2011, EICHENBERGER ET AL. 2013, PERRIN ET AL. 2014B). Mit Fragebogen konnte gezeigt werden, dass sich ein beträchtlicher Teil der Probanden ihrer visuellen Defizite in keiner Weise bewusst waren. Rund ein Drittel (32%) der Probanden mit einem Nah-Visus unter dem Median des Probanden-Kollektivs war der Ansicht, eine adäquate bis sehr gute Sehschärfe als Zahnarzt zu haben (EICHENBERGER ET AL. 2015). Dies galt insbesondere für Zahnärzte, die 40 Jahre und älter waren.

Einfluss des Alters

Die Alterssichtigkeit oder Presbyopie ist verbunden mit einer Einschränkung der Akkommodation, einem erhöhten Lichtbedarf, einer verminderten Kontrast- und verstärkten Blendungsempfindlichkeit (GILBERT 1980, WOO & ING 1988, POINTER 1995). Diese Einschränkungen beginnen um das 40. Altersjahr, was durch die erwähnten Studien mit miniaturisierten Sehtests bestätigt wurde (EICHENBERGER ET AL. 2011, EICHENBERGER ET AL.

2013, PERRIN ET AL. 2014B). Burton und Bridgman unterzogen 172 Zahnärzte und Zahnmedizin-Studenten einem standardisierten, optisch verkleinerten Sehtest in 25 cm und 33 cm Arbeitsdistanz (BURTON & BRIDGMAN 1990). Einerseits konnte in dieser Studie eine klar reduzierte Nahsehschärfe mit zunehmendem Alter nachgewiesen werden: 96% der Probanden mit ungenügendem Testresultat waren über 45 Jahre alt. Zudem wählten ältere Zahnärzte eine signifikant grössere Arbeitsdistanz als Studenten (BURTON & BRIDGMAN 1990).

Die Alterssichtigkeit wird oft erst im Zusammenhang mit Schwierigkeiten im Alltag wahrgenommen. Im Vordergrund steht hier das Lesen kleiner Schriften. Die Dimensionen kleiner Druckbuchstaben liegen jedoch weit über den für die Zahnmedizin relevanten Dimensionen. Dies führt in der Praxis dazu, dass altersbedingte visuelle Defizite im zahnärztlichen Alltag meist über Jahre unerkannt bleiben. Die erwähnte Selbsteinschätzung mittels Fragebogen zeigte entsprechend eine gehäufte Überschätzung des eigenen Visus ab dem 40. Altersjahr (EICHENBERGER ET AL. 2015).

Zur Kontrolle kleiner Details wird der Arbeitsabstand nach Möglichkeit verringert und damit die natürliche Vergrößerung durch Nähe genutzt. Die Auswirkungen der Alterssichtigkeit für den klinischen Alltag waren deshalb am klarsten mit Arbeitsbrille und in freier Arbeitsdistanz zu erkennen (Abb. 5) (EICHENBERGER ET AL. 2013). Ob sich das Zusammenknäufen der Augen durch eine erhöhte Tiefenschärfe und eine Linsenwirkung der komprimierten Tränenflüssigkeit auswirkt auf die Nahsehschärfe war zwar nicht Gegenstand der diskutierten Arbeiten, könnte aber ein interessanter Aspekt für entsprechende Studien sein.

Auf die Kompensationsmöglichkeiten der Alterssichtigkeit mit Vergrößerungshilfen wird in den folgenden Abschnitten eingegangen.

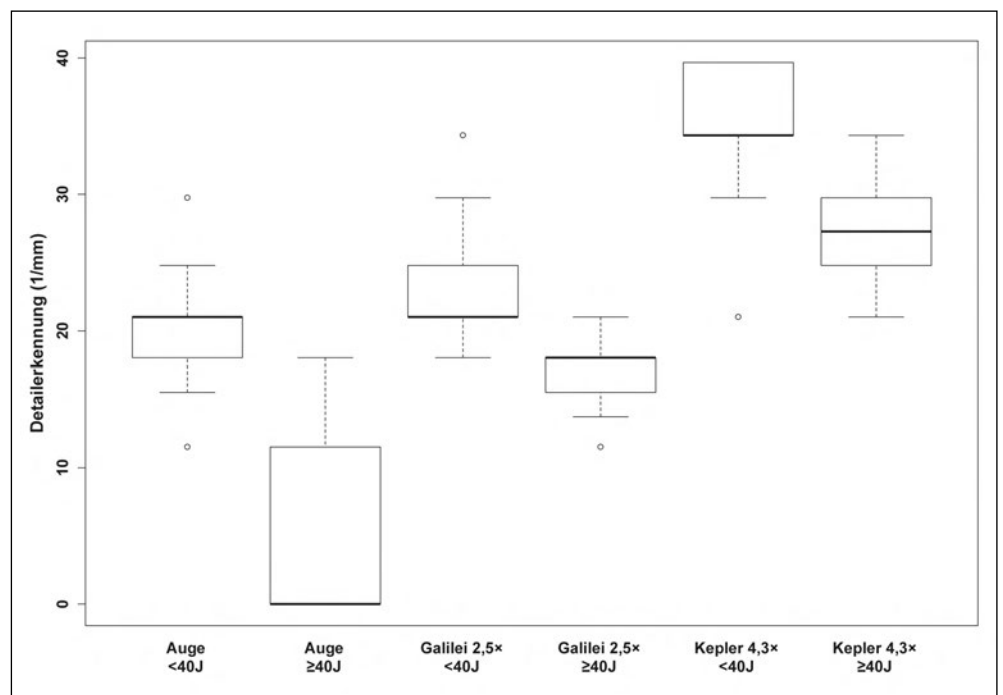
Einfluss der Vergrößerungshilfe

Lupe = Lupe?

Die Palette der verfügbaren Lupen ist gross und für Laien unübersichtlich. Grundlegend ist die Kenntnis der im Glossar beschriebenen Einteilung in Ein-Linsen-Lupen, Galilei-Lupen und Kepler-/Prismen-Lupen (Tab. 1). Bei der Wahl einer Lupe

Abb. 5 Detailerkennung in der klinischen Situation mit dem Phantomkopf. Der Arbeitsabstand mit blosssem Auge konnte frei gewählt werden und richtet sich bei den Lupen nach deren Brennweite. Auffallend ist der deutliche Unterschied der Altersgruppen $</\geq 40$ Jahre ohne Vergrößerungshilfen (Auge). Der Einfluss des Alters war geringer, wenn Galilei- oder Kepler-Lupen verwendet wurden. Die bereits sehr gute Detailerkennung der Zahnärzte <40 Jahre mit blosssem Auge und bei frei wählbarem Arbeitsabstand konnte durch eine Galilei-Lupe aufgrund des grösseren Arbeitsabstandes nur leicht verbessert werden. Zahnärzte ≥ 40 Jahre konnten mit einer Galilei-Lupe die visuellen Defizite der Alterssichtigkeit weitgehend kompensieren. Generell ermöglichen Kepler-Lupen eine signifikant bessere Detailerkennung in beiden Altersgruppen (EICHENBERGER ET AL. 2013).

J = Jahre



stellt sich das Dilemma zwischen Optik und Ergonomie: Ein brillantes, stark vergrössertes Bild muss mit zusätzlichem Gewicht, geringerer Tiefenschärfe und kleinerem Gesichtsfeld erkauft werden. Dieser Zusammenhang basiert auf physikalischen Gesetzen und kann nicht umgangen werden. Der Verdacht, dass Lupenhersteller aus reinen Marketing-Gründen die Vergrößerung ihrer Lupen zu hoch deklarieren, ist naheliegend. Aus den beschriebenen physikalischen Gründen können sie damit bei nach aussen gleicher Vergrößerung ein grösseres Gesichtsfeld und eine grössere Tiefenschärfe als die Konkurrenz anbieten.

Zur Abklärung dieser Frage wurden Lupen verschiedener Hersteller an einer technischen Fachhochschule (NTB, Buchs, Schweiz) optisch verglichen (NEUHAUS ET AL. 2013). Das Spektrum der optischen Eigenschaften war erwartungsgemäss gross (Abb. 6). Erstaunlich war das Ausmass der Diskrepanz zwischen deklarierter und effektiver Vergrößerung vor allem bei Galilei-Lupen. So verfügte die mit $2,8\times$ angeschriebene Lupe eines renommierten Herstellers lediglich über eine Vergrößerung von $2,2\times$. Tatsache ist, dass bei keiner der getesteten Galilei-Lupen die angegebene Vergrößerung dem effektiven Wert entsprach.



Abb. 6 Die objektive Vermessung von zahnärztlichen Lupen an einer optischen Fachhochschule ergab grosse Unterschiede zwischen den einzelnen Lupen. Das gleiche Raster fotografiert durch eine Galilei-Lupe (links, deklariert $2,8\times$) und zwei Kepler-Lupen (Mitte und rechts, deklariert $3,5\times$ resp. $3,6\times$). Zu beachten ist der Zusammenhang zwischen Arbeitsfeld und Vergrößerungsfaktor (links und rechts), aber auch der offensichtliche Qualitätsunterschied bei ähnlicher Vergrößerung (Mitte und rechts). Bei der Mehrheit der Lupen wurde eine Diskrepanz zwischen deklarierter und effektiver Vergrößerung gefunden (NEUHAUS ET AL. 2013).

Mittlerweile steht ein sehr einfacher optischer Test zur Verfügung, mit dem der reale Vergrößerungsfaktor von Galilei-Lupen bestimmt werden kann (www.meridentoptergo.com/Liitetiedostot/Chart%20MO_13-03-26.pdf). Dabei wird die Galilei-Lupe seitenverkehrt über ein Muster von parallelen Linien gehalten, die in Übereinstimmung gebracht werden müssen. Daraus lässt sich der effektive Vergrößerungsfaktor der entsprechenden Lupe ablesen. Es gilt aber festzuhalten, dass ein unpräzise deklarierter Vergrößerungsfaktor nichts über die optische Qualität der Lupe aussagt. Diese manifestiert sich vor allem in der Randzone des Arbeitsfeldes (Abb. 6).

Galilei- versus Kepler-/Prismen-Lupen

Grundsätzlich führte die Verwendung von Lupenbrillen zu einer besseren Sehschärfe in sämtlichen Probanden-Gruppen (EICHENBERGER ET AL. 2011, EICHENBERGER ET AL. 2013, PERRIN ET AL. 2014A, PERRIN ET AL. 2014B). Für junge Probanden bringen Galilei-Lupen jedoch gemäss unseren Resultaten viel eher ergonomische als visuelle Vorteile, während sie in der Gruppe ≥ 40 Jahre die Alterssichtigkeit fast vollständig kompensieren können. Kepler-/Prismen-Lupen sind den Galilei-Lupen deutlich überlegen (EICHENBERGER ET AL. 2011, EICHENBERGER ET AL. 2013, PERRIN ET AL. 2014B). Sie ermöglichten in sämtlichen Altersgruppen eine deutliche Verbesserung der Detailerkennung, je nach Alter in der Grössenordnung von 200% bis 400% im Vergleich zum unbewaffneten Auge (Abb. 5) (EICHENBERGER ET AL. 2013). Dies wurde einerseits auf den höheren Vergrößerungsfaktor zurückgeführt, andererseits aber auch auf die überlegenen optischen Eigenschaften der Kepler-/Prismen-Lupen im Vergleich zu den Galilei-Systemen (EICHENBERGER ET AL. 2011).

Operationsmikroskop

Mit den miniaturisierten Sehtests in Zahnkavitäten wurde das Sehvermögen von Zahnärzten unter dem Operationsmikroskop gemessen (EICHENBERGER ET AL. 2013). Die verwendeten Sehtests waren aufgrund ihrer Dimension für Vergrößerungen von $4\times$ und $6,4\times$ geeignet. Höhere Faktoren, wie sie in der klinischen

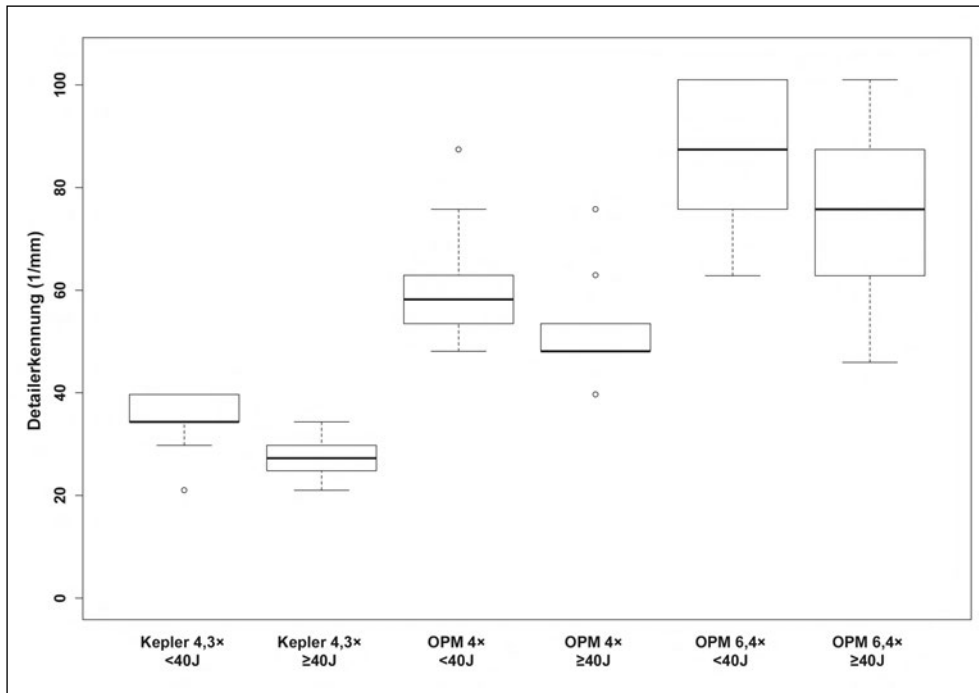


Abb. 7 Die Altersunterschiede in der Detailerkennung sind bei Kepler-Lupen und dem Operationsmikroskop gering. Auffallend ist die deutliche Verbesserung der Detailerkennung mit dem Mikroskop auch bei kleinem Vergrößerungsfaktor (EICHENBERGER ET AL. 2013). J = Jahre; OPM = Operationsmikroskop

Arbeit mit dem Operationsmikroskop durchaus üblich sind, konnten nicht evaluiert werden. Obwohl die untersuchten Vergrößerungen im Bereich der Kepler-/Prismen-Lupen lagen, war die Detailerkennung mit dem Mikroskop unter klinischen Bedingungen deutlich erhöht (Abb. 7). Ob der Grund für diese Überlegenheit eher bei der völlig statischen, vom Kopftremor ungestörten Position des Mikroskops zu suchen ist oder in dessen unterschiedlicher optischer Konstruktion, bleibt offen und kann Gegenstand weiterer Untersuchungen sein.

Einfluss der Alterssichtigkeit auf die Wirkung von Vergrößerungshilfen

Die altersbedingten Unterschiede wurden mit zunehmender optischer Qualität der Lupen kleiner, beim Mikroskop verschwanden sie fast vollständig (Abb. 5 und 7) (EICHENBERGER ET AL. 2013, PERRIN ET AL. 2014A). Testpersonen ≥ 40 Jahre erkannten mit einer 2,5 \times -Galilei-Lupe die gleichen Strukturen wie jüngere Probanden mit blossen Auge (Abb. 5) (EICHENBERGER ET AL. 2013). Die Alterssichtigkeit kann somit durch Verwendung einer Lupe problemlos kompensiert werden. Die Detailerkennung in der klinischen Situation wurde umgekehrt bei jungen Probanden mit einer Galilei-Lupe kaum erhöht (Abb. 5) (EICHENBERGER ET AL. 2013). Grund für dieses mehrfach bestätigte Resultat ist der Verlust der erwähnten natürlichen Vergrößerung, weil die Arbeitsdistanz aus ergonomischen Gründen relativ gross gewählt und eine Annäherung an den Patienten durch die Brennweite der Lupe verhindert wird. Kepler-/Prismen-Lupen und Mikroskope führten dank stärkerer Vergrößerungsfaktoren und besserer Optik bei jeder Altersgruppe zu einer besseren Detailerkennung (Abb. 5 und 7) (EICHENBERGER ET AL. 2013).

Spezialfall Endodontologie

Obwohl bei zahnärztlichen Behandlungen immer möglichst viel Licht in die Kavitäten gebracht wird, ist es praktisch unmöglich, Wurzelkanäle auszuleuchten. Endodontische Behandlungen finden deshalb als einzige zahnärztliche Be-

handlung weitgehend im Dunkeln statt. Sie sind geprägt von Erfahrung, Tastsinn und Röntgendiagnostik. Seit mittlerweile über zwei Jahrzehnten wird das Operationsmikroskop mit seiner wählbaren Vergrößerung und der orthograden Beleuchtung als Meilenstein in der Endodontologie propagiert. Es ermöglicht eine Visualisierung des Pulpacavums und erlaubt die endodontische Behandlung unter Sicht (CARR 1992, VELVART 1996). Ob dies auch mit Lupen möglich ist, wird in der Literatur kontrovers diskutiert. So verglich eine retrospektive Studie anhand von 312 klinischen Fällen die Häufigkeit, mit der ein zweiter mesiobukkaler Kanal in oberen Molaren gefunden wurde, je nach Verwendung des blossen Auges (18%), einer Lupe (55%) oder einem Operationsmikroskop (57%) (BURLEY ET AL. 2002). Der indirekte Rückschluss auf die Wirkung der Vergrößerung wies zwar auf einen hochsignifikanten Einfluss hin, jedoch in gleicher Weise für Lupe und Mikroskop. Eine weitere Studie zum Auffinden von zweiten mesiobukkalen Kanälen in oberen Molaren verglich eine 2,5-fache Lupe und das Operationsmikroskop bei 8-facher Vergrößerung (SCHWARZE ET AL. 2002). Hundert extrahierte und eröffnete Molaren wurden zuerst mit der Lupe, anschliessend unter dem Mikroskop untersucht. Mit der Lupe wurden 41%, mit dem Operationsmikroskop 94% der histologisch vorhandenen Kanäle identifiziert. Der Unterschied war hochsignifikant.

Mit dem Ziel, die Frage nach der Visualisierung endodontischer Behandlungen objektiv zu beantworten, wurden in einer Studie die beschriebenen Mikro-Sehtests in die Wurzelkanäle eines extrahierten Molars geklebt: mesiobukkal am Kanaleingang, distobukkal in 5 mm Tiefe und palatinal am Apex (PERRIN ET AL. 2014A). Der Zahn wurde wie oben beschrieben in einem Phantomkopf auf den Behandlungsstuhl gebracht und die Sehtests in den Kanälen unter verschiedenen optischen Bedingungen durchgeführt: A) Arbeitsbrille mit freiem Abstand und OP-Lampe, B) Galilei-Lupe 2,5 \times mit integrierter Lichtquelle, C) Operationsmikroskop 6 \times . In die Studie einbezogen wurden 26 Zahnärzte im Alter zwischen 27 und 60 Jahren. Als Grenzwert für eine genügende Sicht wurde die Dimension des feins-

ten endodontischen Instrumentes (Feilenspitze 06) gewählt (PERRIN ET AL. 2014A).

Innerhalb der Wurzelkanäle bot nur das Operationsmikroskop eine genügende Sicht; dies galt für alle Testpersonen und war unabhängig vom Alter. Am Wurzelkanaleingang konnte die Dimension 0,06 mm von Zahnärzten <40 Jahre mit Galilei-Lupe und Licht erkannt werden; ältere Zahnärzte ≥ 40 Jahre waren auch hier auf das Operationsmikroskop angewiesen. Eigene, noch nicht publizierte Ergebnisse zeigen, dass mit einer stärker vergrößernden Kepler-/Prismen-Lupe (4,3 \times) auch diese ältere Gruppe die Bedingung 0,06 mm am Wurzelkanaleingang ausnahmslos erfüllen kann. Innerhalb des Wurzelkanals erlauben aber auch diese Lupen keine ausreichende Sehleistung. Ob dies eher auf eine mangelnde Vergrößerung oder auf eine ungenügende Beleuchtung zurückzuführen ist, muss aufgrund dieser Studie offenbleiben. Die Detailerkennung mit dem Mikroskop war weder von der Lokalisation des Sehtests noch vom Alter des Probanden abhängig.

Mit miniaturisierten Sehtests im Pulpacavum konnte objektiv und unter simulierten klinischen Verhältnissen die Sonderstellung des Operationsmikroskopes für die Endodontologie gezeigt werden. Für die Suche der Kanäleingänge kann es partiell durch Lupen ersetzt werden.

Licht und Ergonomie

Das Licht als Einflussfaktor für das Sehen in der grundsätzlich dunklen Mundhöhle ist nicht Gegenstand dieser Übersichts-

arbeit. Es ist jedoch anzunehmen, dass die Beleuchtung einen relevanten und altersabhängigen Einfluss auf das zahnärztliche Sehen hat.

Auf die ergonomischen Vorteile von Vergrößerungshilfen bezüglich Arbeitsdistanz und Körperhaltung wird regelmässig hingewiesen. Auch dieser Aspekt wurde in den hier analysierten Arbeiten nicht untersucht. Immerhin ist darauf hinzuweisen, dass diese Vorteile zumindest im Falle der Lupen aufgrund der eingeschränkten Bewegungsfreiheit bei gleichzeitig schräger Kopfhaltung zu diskutieren sind.

Schlussfolgerungen

Der zahnärztliche Visus unter klinischen Bedingungen variiert massiv und sollte regelmässig kontrolliert werden. Insbesondere muss der frühe Beginn der Alterssichtigkeit um das 40. Lebensjahr beachtet werden. Lupen sind in der Lage, visuelle Defizite auf einfache Weise zu kompensieren. Bei Lupen kann die vom Hersteller angegebene Vergrößerung von der tatsächlichen abweichen. Das Operationsmikroskop ermöglicht eine hervorragende Detailerkennung auch bei geringer Vergrößerung. Ob eine bessere Erkennung von Details die klinische Prognose der zahnärztlichen Arbeit verbessert, ist wissenschaftlich nicht erwiesen und bedarf weiterer Studien. Ebenfalls sollten der Einfluss des Lichts und die Bedeutung der Ergonomie in Bezug auf das zahnärztliche Sehen in weiteren Studien untersucht werden.