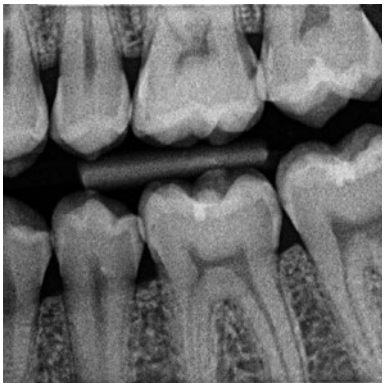
copyright by
all rights reserved
Quintessenz

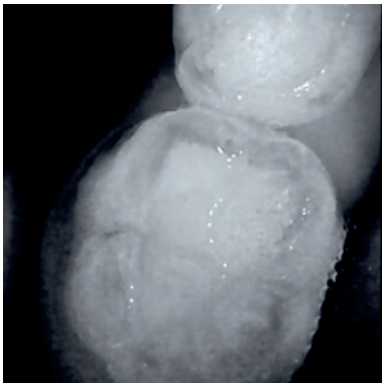
QUINTESSENZ
ZAHNMEDIZIN

08/21 | August 2021
72. Jahrgang

Intraoralscanner mit Nahinfrarot-Technologie (NIRI) – Paradigmenwechsel in der Kariesdiagnostik

Ingo Baresel





QUINTESSENCE PUBLISHING

copyright by all rights reserved Quintessenz

Intraoralscanner mit Nahinfrarot-Technologie (NIRI) – Paradigmenwechsel in der Kariesdiagnostik

Ingo Baresel

Indizes

Intraoralscanner, Kariesdiagnostik, Nahinfrarot-Transillumination, Nahinfrarot-Bildgebung, NIR, „Near infrared imaging", NIRI, approximale Karies, künstliche Intelligenz

Zusammenfassung

Der Anspruch einer präventiven Zahnmedizin und zahnstrukturerhaltenden Vorgehensweise bedarf in der Kariestherapie veränderter Therapie- und Denkansätze. Heutzutage ermöglichen moderne Diagnostiksysteme das frühzeitige Erkennen kariöser Läsionen und bilden die Grundlage für non- oder minimalinvasive Therapiemaßnahmen, die ein Ausbreiten der Karies im Zahn stoppen sollen. Im Artikel vorgestellt wird die Nahinfrarot-Technologie NIRI („Near infrared imaging") zur Früherkennung von Karies. Integriert ist NIRI im iTero Element 5D Intraoralscanner, der zusätzlich zu seiner originären Funktion – dem Scannen der intraoralen Situation – als komfortables Diagnose- und Kommunikationsgerät dient. Der Scanner kann zugleich als Kariesdiagnostik-Tool verwendet werden, um Zahn für Zahn nach möglichen kariösen Läsionen zu untersuchen. Innerhalb kurzer Zeit und frei von jedweden ionisierenden Strahlen stehen dem Zahnarzt die Ergebnisse als Entscheidungsgrundlage für weitere Maßnahmen wie z. B. non- oder minimalinvasive Therapien zur Verfügung. Gegenüber klassischen Diagnosemitteln erlaubt die NIRI-Technologie in vielen Fällen wie z. B. bei approximalen Bereichen im restaurationsfreien Gebiss eine frühestmögliche Erkennung pathologischer Veränderungen der Zahnhartsubstanz. Die hochauflösenden Scans werden archiviert und stehen jederzeit für eine Verlaufskontrolle zur Verfügung. Die vielversprechende Bildgebungstechnologie entspricht dem Anspruch an eine zahnerhaltende, präventive Zahnmedizin. Große Vorteile ergeben sich u. a. in der Kinderzahnheilkunde, indem eine Früherkennung ohne Bissflügelaufnahme bzw. radiologische Strahlenbelastung erfolgt. In Kombination mit den Möglichkeiten der künstlichen Intelligenz (KI) kann NIRI einen Paradigmenwechsel im Bereich der Kariesfrüherkennung herbeiführen. In Verbindung mit dem Intraoralscanner unterstreicht dieser Ansatz einmal mehr das große Potenzial, welches die Digitalisierung in der Zahnmedizin bereithält.

Einleitung

Die Digitalisierung in der Zahnmedizin verändert eine Vielzahl zahnärztlicher Arbeitsbereiche. Insbesondere moderne Intraoralscanner stehen als Treiber des digitalen Wandels in der Zahnarztpraxis im Fokus. Hierbei bieten sie weit mehr als die Möglichkeit der intraoralen Datenerfassung. Hochauflösende Scans in Echtfarbe bieten dem Zahnarzt eine realitätsnahe Darstellung der intraoralen Situation. Detailreiche Scan-Informationen aus dem Intraoralscanner dienen der Analyse, Dokumentation und Patientenkommunikation. Eine logische Weiterentwicklung im Bereich der Intraoralscanner ist es, den Scanner zu einem ergänzenden digitalen Diagnosegerät werden zu lassen. Fortschrittliche Scan-

copyright by all rights reserved Quintessenz

Technologien in Kombination mit den Möglichkeiten der künstlichen Intelligenz (KI) lassen in verschiedenen medizinischen Bereichen den Diagnoseprozess effizienter und genauer werden. Ein Beispiel für den erweiterten Einsatzbereich von Intraoralscannern ist die Kariesdiagnostik, wie sie beispielsweise durch die Nahinfrarot-Technologie NIRI („Near infrared imaging") mit dem iTero Element 5D Intraoralscanner (Fa. Align Technology, Köln) erfolgen kann.

Kariesdiagnostik als Grundlage für die non- und minimalinvasive Therapie

Karies basiert als Erkrankung auf einem dynamischen, multifaktoriellen Geschehen von Demineralisationen, das unbehandelt einen irreversiblen Zahnhartsubstanzverlust zur Folge hat. Während früher die Entfernung des demineralisierten Gewebes als einzige Option zur Kariestherapie galt, wird Karies heute als Prozess betrachtet, der – bei rechtzeitiger Diagnose – gestoppt werden kann. In der Entstehungsphase verhindern noninvasive Maßnahmen wie z. B. Fluoridierung und antibakterielle Behandlung ein Ausbreiten; idealerweise remineralisiert die Läsion. Der Weltverband der Zahnärzte „FDI World dental federation" stellte ein Minimum-Interventionskonzept auf, bestehend aus sechs Stufen[9]:

1. Früherkennung, wenn möglich, bevor die Läsion kavitiert, Beurteilung von Kariesrisiko und Kariesaktivität,
2. Remineralisierung von demineralisiertem Zahnschmelz und Dentin,
3. optimale Maßnahmen zur Erhaltung gesunder Zähne,
4. maßgeschneiderte Nachkontrollen,
5. minimalinvasive Eingriffe, um Zahnerhalt zu garantieren, und
6. Reparatur defekter Restaurationen anstelle von Ersatz.

Diagnostik wird zu einer elementaren Komponente der modernen Kariestherapie und das frühzeitige Erkennen der Karies zur Erfolgsgrundlage[4,10,26]. So sind beispielsweise bei einem noninvasiven Vorgehen für die Überwachung des klinischen Verlaufes diagnostische Mittel notwendig, um bei einem etwaigen Fortschreiten der Karies ggf. andere Behandlungsschritte einzuleiten. Mit konventionellen Maßnahmen wie visueller Diagnostik, taktiler Untersuchung und Röntgendiagnostik werden Läsionen oft zu spät erkannt, um mit einer guten Erfolgsprognose einen non- oder minimalinvasiven Therapieweg zu wählen[31,32]. Ergänzend zu bekannten diagnostischen Mitteln sind in den vergangenen Jahren unterschiedlichste Systeme zur Kariesdiagnostik entwickelt worden.

Der Zahnarzt steht heute vor einer Vielzahl von Diagnosetechnologien[2]. Hierzu zählen beispielsweise die Laserfluoreszenztechnik, die Widerstandsmessung, die Nahinfrarot-Bildgebung (NIR) und die NIRI-Technologie. Die Technologien ermöglichen ein Monitoring der Demineralisation bzw. des kariösen Defektes und unterstützen idealerweise dabei, aktive von inaktiven Läsionen zu unterscheiden. Basierend darauf lassen sich Therapieentscheidungen treffen. Im Jahr 2005 wurde das visuelle Kariesdiagnosesystem „International caries detection and assessment system" in modifizierter Form (ICDAS-II) vorgestellt[27]. Es basiert auf epidemiologischen Erhebungen und gibt dem Zahnarzt im Praxisalltag die Möglichkeit, kariöse Veränderungen anhand verschiedener Codes zu klassifizieren und entsprechende Therapiemaßnahmen einzuleiten.

Diagnostik versteckter Läsionen

Eine große Herausforderung für den Zahnarzt, der non- oder minimalinvasiv agieren möchte, ist das frühzeitige Erkennen von Karies an versteckten Lokalisationen, besonders im Approximalraum. Hier geraten taktile und visuelle Vorgehensweisen oft an Grenzen. Die Demineralisation bzw. Läsion bleibt unentdeckt und wird erst erkannt, wenn Zahnhartsubstanz zerstört ist. Zu den klassischen Diagnosemitteln gehört das Röntgen. Die Bissflügelaufnahme (nach Raper) wurde für die Diagnostik von approximalen Läsionen entwickelt[30] und findet heute oft auch Verwendung beim Erkennen von Okklusalkaries[23,24]. In vielen Indikationen sind Bissflügelaufnahmen unverzichtbar. Als Nachteile gelten u. a. die Strahlenbelastung für den Patienten, der erhöhte Aufwand und das techniksensitive Vorgehen. Für ein zuverlässiges Monitoring von Demineralisationen, nicht behandelten kariösen Läsionen (noninvasive Therapie) sowie regelmäßigen Verlaufskontrollen und für minimalinvasive Therapien sind in vielen

copyright by all rights reserved Quintessenz

Situationen andere Wege zu bevorzugen. Zwar werden Bissflügelaufnahmen in der Kariesdiagnostik nicht vollständig ersetzt werden. Heute gibt es jedoch ergänzende Maßnahmen, die oft eine höhere Akzeptanz finden und folgende Vorteile bieten:

- Freiheit von ionisierenden Strahlen,
- frühe Erkennung von Läsionen und
- verbesserte Kommunikation mit dem Patienten.

Kariesdiagnosik auf Basis lichtoptischer Systeme

Für die Kariesdiagnostik und das Erkennen von Kariesvorstufen gibt es verschiedene Technologien, die auf lichtoptischen Verfahren beruhen. Hierzu gehören die Faseroptiktransillumination (FOTI) bzw. die auf Diaphanoskopie basierende Faseroptiktransillumination (DiFOTI)[7]. Genutzt wird die Eigenschaft der Durchleuchtung von Zahnhartsubstanz, um Veränderungen durch kariöse Prozesse festzustellen. Beim Transilluminationsverfahren erweist sich insbesondere das Durchleuchten des Zahnes mit Licht spezifischer Wellenlängen im nahen Infrarotbereich als Vorteil, welcher auf der vergleichsweise hohen Eindringtiefe des Lichtes in die Zahnhartsubstanz und der Streulichtverteilung im Zahn beruht[10]. Diese Art der nichtionisierenden Bildgebung nutzt die Unterschiede in der Streuung und Absorption von Licht im nahen Infrarotbereich in Abhängigkeit vom Grad der Zahnmineralisierung. Zudem zählt zur lichtoptischen Karieserkennung die Fluoreszenztechnologie. Diese Systematik beruht auf der spezifischen Fluoreszenzfähigkeit kariogener Mikroorganismen. Insbesondere das bakterielle Metabolit Protoporphyrin IX dient als Auslöser für die rötliche Fluoreszenz kariöser Bereiche[13]. Die hohen Sensitivitätswerte dieser Technologie auch bei okklusalen und approximalen Läsionen sind bestätigt[19,22]. Ebenso wird dieses Vorgehen für das Monitoring als geeignet beschrieben[3,15]. Allerdings beeinflussen einige Aspekte die Zuverlässigkeit dieser Art der Kariesdetektion. Hierzu gehören beispielsweise die Varianzen der natürlichen Zahnfarben mit ihrem unterschiedlich ausgeprägten Fluoreszenzverhalten[18]. Auch Zahnstein, Versieglungs- oder Füllungsmaterialien sowie Reste von Prophylaxepasten könnten falsche Befunde mit sich bringen[8,14,18].

NIR-Bildgebung für die Früherkennung approximaler Karies

Die Bildgebung mittels NIR basiert auf dem Prinzip der Transillumination, also dem Durchleuchten des Zahnes. Licht wird in den Zahn geleitet und breitet sich je nach Gewebeart (Schmelz, Dentin) aus. Während der gesunde Zahnschmelz für Licht transluzent ist, wird bei einer kariösen Läsion das Licht stärker gestreut und absorbiert. Zahnschmelz stellt sich transparenter dar als beispielsweise Dentin. Sowohl im Dentin als auch im Schmelz kommt es bei einem kariösen Defekt zu einer verringerten Lichtintensität. Im Jahr 2006 wurde die NIR-Bildgebung patentiert[11]. 2012 kam das erste kommerziell erhältliche Diagnostiksystem mit Nahinfrarot-Transillumination auf den Markt (DIAGNOcam, Fa. KaVo, Biberach). In verschiedenen klinischen Studien verglichen Forschungsgruppen die DIAGNOcam mit der konventionellen Röntgendiagnostik. Es zeigte sich eine vergleichbare bis überlegene Eignung zur Kariesdiagnostik[1,16,28]. In ihrer klinischen Studie wiesen Kühnisch et al. nach, dass das DIAGNOcam-System approximale kariöse Schmelzläsionen zuverlässig erkennt. Die Studiengruppe stufte die Messmethode in ihrer Sensitivität für kariöse Läsionen den konventionellen Bissflügelröntgenaufnahmen als gleichwertig ein. Allerdings konnte der Umfang kariöser Dentinläsionen in vielen Fällen optisch nicht dargestellt werden.

Während das System die Ausbreitung von Karies im Schmelz sehr gut erkennt, ist die Diagnostik von Dentinkaries limitiert. Zwar lässt ein umfangreicher, breiter kariöser Befall im Bereich der Schmelz-Dentin-Grenze auf das Auftreten von Dentinkaries schließen[16], jedoch ist im Dentin selbst das Erkennen einer Läsion mittels DIAGNOcam erschwert. Daher ersetzen Kariesdiagnosesysteme, welche auf der Transillumination von Zahnhartsubstanz basieren, bis heute die klassische Bissflügelaufnahmen nicht. Deren Sensitivität im Bereich der Diagnostik von Dentinkaries scheint zwar höher, doch erfordert der Einsatz radiologischer Verfahren aufgrund der Strahlenbelastung eine sie „rechtfertigende Indikation“. In vielen Indikationen ist jedoch die röntgenfreie Methode zur Kariesdiagnostik zu bevorzugen (z. B. Schwangere, Kinder). Verlaufskontrollen von insbesondere kariösen Läsionen im Schmelz lassen sich mit einem

copyright by all rights reserved Quintessenz

visuellen Verfahren wie NIR schonender durchführen. Aufgrund ihres einfachen Handlings sowie hohen Reproduzierbarkeit lässt sich NIR zudem für die noninvasive Beobachtung einer Approximalkaries einsetzen.

Die klinischen Erfahrungen zeigen, dass es mit NIR zuverlässig gelingt, kariöse Läsionen in approximalen und okklusalen Arealen zu erfassen – frühzeitig genug für non- und minimalinvasive Maßnahmen. In-vitro- und In-vivo-Studien über den Nachweis von Karies im Frühstadium mithilfe von NIR zeigen sehr positive Ergebnisse[10,17]. Untersuchungen wiesen nach, dass die Qualität von NIR-Bildern der von Röntgenbildern, z. B. bei der digitalradiologischen Bissflügelaufnahme, in entsprechenden Indikationen wie z. B. in approximalen Bereichen überlegen sein kann und die NIR-Bildgebung in vielen Fällen zum adäquaten diagnostischen Hilfsmittel wird[4,17,21]. Klinische Studien lassen schlussfolgern, dass die Sensitivität der NIR ähnlich stark wie die Sensitivität bei Röntgenaufnahmen und somit als Methode für die Früherkennung approximaler Karies geeignet sein kann[20]. Zudem macht das Vermeiden von Röntgenstrahlen die Technologie interessant für den Praxisalltag. Eine Studie von Hwang et al. aus dem Jahr 2018 beschäftigte sich mit dem Zusammenhang zwischen den Röntgenstrahlen in der Zahnarztpraxis und dem daraus resultierenden Gesundheitsrisiko. Zwar ist die Belastung bei der zahnärztlichen Röntgendiagnostik geringer als in anderen medizinischen Bereichen und doch besteht ein Risiko aufgrund der Strahlenexposition[12]. In jeder Zahnarztpraxis gibt es Patientengruppen, bei der jedwede Röntgenbelastung vermieden werden sollte (z. B. Schwangere). Grundsätzlich könnte NIR dazu beitragen, die Anzahl von radiologischen Bissflügelaufnahmen für die Kariesdiagnose zu reduzieren[28]. Neuester Fortschritt ist die Integration der Technologie in den Intraoralscanner, die NIRI als Bestandteil des iTero Element 5D Intraoralscanners.

Intraoralscanner mit NIRI-Technologie

Der iTero Element 5D Intraoralscanner ist ein modernes Bildgebungssystem, welches u. a. eine Diagnosehilfe mit NIRI-Technologie integriert. Ein einziger Scan erlaubt dem Zahnarzt differenzierte Betrachtungen der Situation und stellt verschiedene Informationen bereit. Mit dem Scan können diverse Daten erhoben werden: 3-D-Modell, 2-D-Farb- und NIR-Aufnahmen. Der Scanner erfasst die Farbe der Zahnstrukturen mit einem optischen, kontaktlosen Fokuserkennungsverfahren. Mit der Funktion NIRI wird der Zahn zusätzlich durchleuchtet, Daten unter der Zahnoberfläche werden erfasst und so die Kariesdiagnostik effektiv unterstützt. Die Bilder können gespeichert, zur Verlaufskontrolle jederzeit angesehen und im Sinne eines röntgenfreien Kariesmonitorings mit der aktuellen Situation abgeglichen werden.

Unterschiede zur konventionellen NIR-Bildgebung

Die iTero Element 5D NIRI-Technologie unterscheidet sich von der DIAGNOCam in entscheidenden Punkten. Beide Verfahren ähneln sich im Grundkonzept: Es wird Nahinfrarotlicht einer Wellenlänge verwendet, welche für die Visualisierung der Schmelztransparenz optimal ist. Allerdings gibt es wesentliche Unterschiede zwischen beiden Technologien. Der iTero Element 5D verwendet reflektierendes NIR. Dass bedeutet, die Beleuchtung des Zahnes erfolgt aus Richtung der Kamera. Die DIAGNOcam basiert auf dem Prinzip der Durchleuchtung; beleuchtet wird von bukkal und lingual, während die Kamera okklusal positioniert ist. Beim reflektierenden Ansatz des iTero wird die kariöse Läsion direkt visualisiert, wohingegen beim Durchleuchten der durch die Karies erzeugte Schatten abgebildet wird. Zudem verwendet der iTero-Scanner keine seitlichen Flügel. Somit kann die Kamera frei im Mund bewegt und aus jedem Winkel gescannt werden. Dies ist bei der DIAGNOcam konstruktionsbedingt nicht möglich. Zudem muss bei dieser Kamera die LED mit dem Zahn in Kontakt sein. Andernfalls wird direktes Licht von der LED auf die Kamera übertragen und das Bild „verbrannt“. Dies macht es sehr viel schwieriger, kleine Zähne beispielsweise von Kindern zu scannen. Da beim iTero auf die Flügel verzichtet worden ist, können alle Zähne aus jedem Winkel gescannt werden. Letztlich ist der iTero für den Patienten komfortabler, da die Kamera nicht in Kontakt mit der Gingiva kommt.

copyright by all rights reserved Quintessenz

NIRI-Technologie im Praxiseinsatz

Der iTero Element 5D Intraoralscanner arbeitet nach dem Lichtreflexionskonzept. Verwendet wird Licht mit einer Wellenlänge von 850 nm, welches in die Zahnsubstanz eindringt und das NIRI-Bild erzeugt. Dieses Bild unterstützt die Detektion von kariösen Läsionen oberhalb der Gingiva. Alle Interferenzen, pathologischen Läsionen und Demineralisierungsbereiche erscheinen im NIRI-Untersuchungsmodus aufgrund der erhöhten Streuung in diesen Bereichen als helle Areale. Bereits im frühesten Stadium kann ein Defekt erkannt und im Idealfall noninvasiv, zumindest aber minimalinvasiv behandelt werden. Klinisch sind approximale Läsionen als kreideweiße Verfärbung visuell erkennbar. Schätzungsweise dauert es mehrere Jahre, bis sich eine solche approximale Läsion klinisch visuell darstellt. Auch Röntgenaufnahmen stellen eine Kariesläsion erst dann zuverlässig dar, wenn die Zahnhartsubstanz schon zu einem gewissen Maß zerstört ist. Hingegen scheint mit NIRI eine frühere Erkennung möglich. Die Behandlungsnotwendigkeit kann zunächst beurteilt werden; nicht immer sind invasive Maßnahmen notwendig. Bei noninvasiven Maßnahmen ist mit der NIRI-Technologie eine einfache Möglichkeit der Verlaufskontrolle geboten. Sind invasive Maßnahmen unvermeidbar, kann die Indikation dem Patienten erläutert und die Läsion am Scan bzw. NIRI-Bild nachvollziehbar und konkret dargestellt werden. Dies erhöht die Akzeptanz für eine notwendige Behandlung. Oftmals ist eine Karies im Frühstadium für den Patienten nicht spür- und sichtbar, sodass die Notwendigkeit für eine Füllungstherapie nicht klar ist. Somit wird der Scanner im Praxisalltag zugleich zu einem wichtigen Kommunikationsinstrument.

Patientenfälle

Patient 1

Im Rahmen einer Routineuntersuchung wurden die Zähne im Ober- und Unterkiefer mit dem iTero Element 5D Intraoralscanner erfasst. Klinisch waren keinerlei Anzeichen einer kariösen Läsion erkennbar (Abb. 1). Die NIRI-Funktion hingegen zeigte im mesialen Bereich des Zahnes 16 einen Defekt, der sich auf dem Bild als heller Punkt darstellt (Abb. 2). Ergänzend zum Scan wurde eine Bissflügelaufnahme erstellt, die ebenfalls ohne pathologischen Befund war (Abb. 3). Bei einer Bissflügelaufnahme ist es erfahrungsgemäß oft so, dass die Realität der Röntgenaufnahme voraus ist. So auch in diesem Fall. Die NIRI-Darstellung zeigte die kariöse Läsion, bevor sie mit bloßem Auge und auf dem Röntgenbild sichtbar war. Im vergrößerten NIRI-Bild können zur besseren Darstellung die Kontraste und/oder Helligkeit angepasst werden (Abb. 4). Im NIRI-Untersuchungsmodus konkretisierte sich der Befund der kariösen Läsion im Schmelzbereich (Abb. 5). Da bereits das Dentin leicht touchiert war, fiel die Entscheidung zum damaligen Zeitpunkt für eine minimalinvasive Füllungstherapie. Nach der Eröffnung des Defektes bestätigte sich die hohe Genauigkeit der NIRI-Aufnahme, denn es zeigte sich exakt die Defektgeometrie, die zuvor auf dem Bild diagnostiziert werden konnte (Abb. 6). Nach dem schonenden Exkavieren der Karies erfolgte das Legen der Füllung (Abb. 7).

Auf Basis der NIRI-Technologie konnte die Behandlung zu einem relativ frühen Zeitpunkt erfolgen und eine minimalinvasive Therapie vorgenommen werden. Aus heutiger Sicht und auf Basis der längeren Erfahrung mit der NIRI-Diagnostik wäre in diesem Fall ein noninvasiver Ansatz mit Verlaufskontrolle die primäre Option gewesen. Der Therapieentscheidung bei einer approximalen kariösen Läsion im Anfangsstadium liegt heutzutage die Forderung – u. a. ausgeführt im Expertenkonsens der „European organisation for caries research“ (ORCA) und „European federation of conservative dentistry“ bzw. Deutschen Gesellschaft für Zahnerhaltung (EFCD/DGZ) – zugrunde, Überbehandlungen zu vermeiden[28]. Es wird empfohlen, das Kariesrisiko einer Person mit noninvasiven Mitteln wie z. B. Mundhygienemaßnahmen und Fluoridapplikation zu steuern[29]. Approximale und sekundäre kariöse Läsionen können verhindert oder ihre Aktivität verringert werden. Zentraler Aspekt ist hierbei das Kariesrisiko des Patienten. Bei Menschen mit geringem Risiko können nichtkavitierte Läsionen mit noninvasiven Maßnahmen gestoppt werden.

copyright by Ingo Baresel all rights reserved Quintessenz

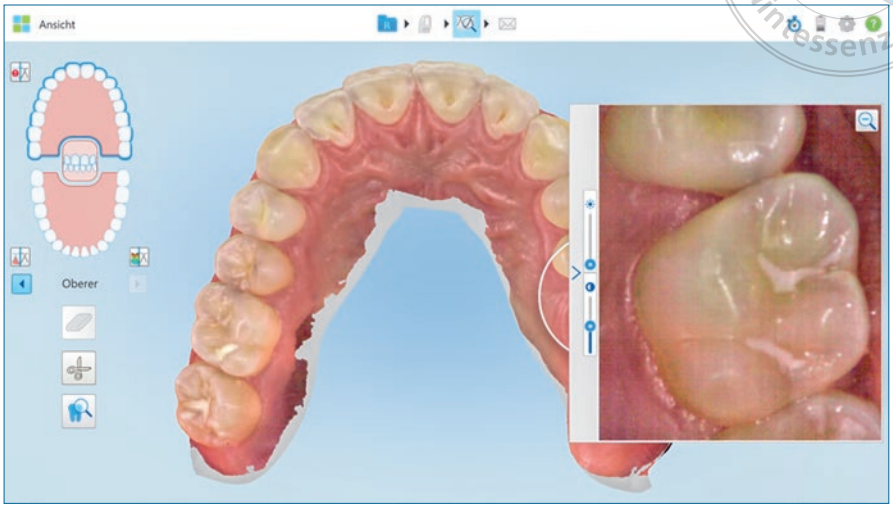


Abb. 1 Scan der Oberkieferzahnreihe mit vergrößerter Darstellung von Zahn 16 ohne sichtbare Anzeichen von Karies.

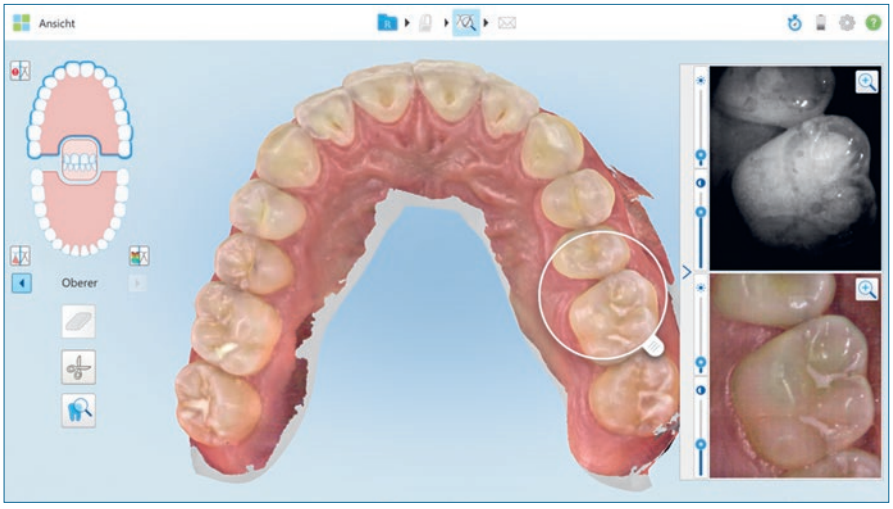


Abb. 2 Der gleiche Scan mit Nahinfrarot-Technologie NIRI („Near infrared imaging", rechts oben) mit kleiner Aufhellung mesial am Zahn 16.

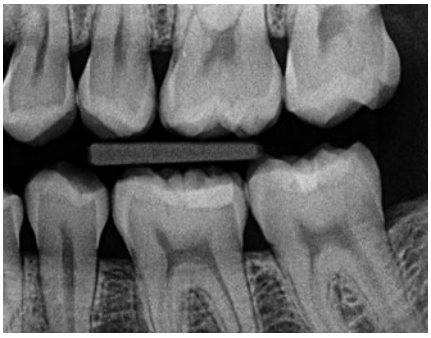


Abb. 3 Bissflügelaufnahme zur Beurteilung der Situation ohne Befund.

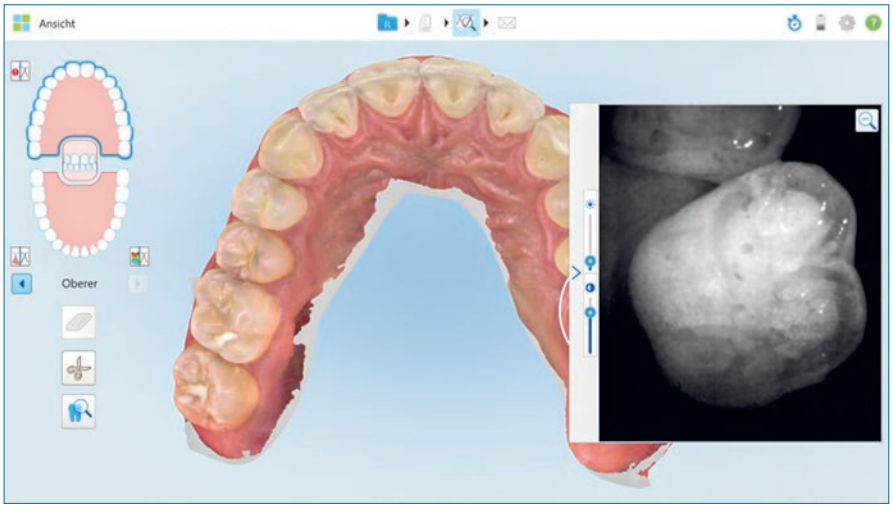


Abb. 4 Vergrößerte NIRI-Darstellung nach Anpassen der Kontraste.

copyright by all rights reserved Quintessenz

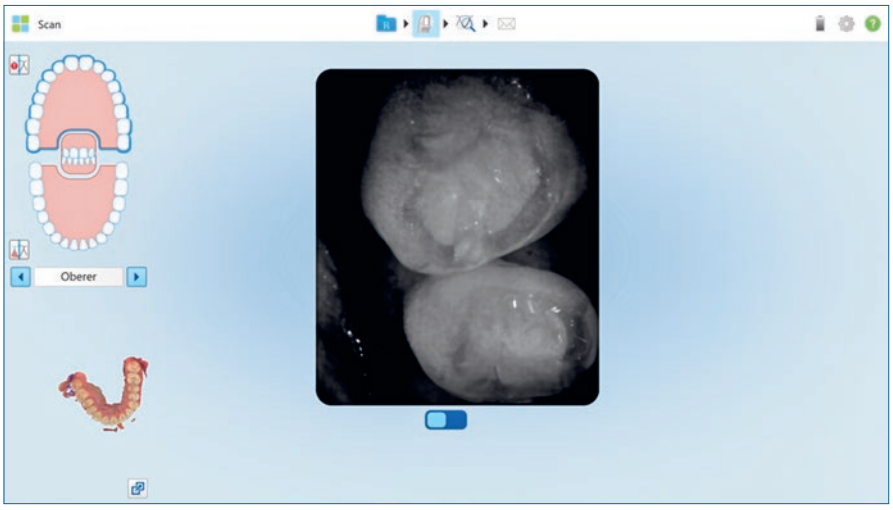


Abb. 5 Untersuchungsmodus verdeutlicht die kariöse Läsion.

Abb. 6a und b Exkavierte Läsion bis zum Dentin in exakt derselben Ausdehnung wie zuvor auf der NIRI-Aufnahme sichtbar.

Abb. 7 Situation nach der Füllungstherapie.

Patient 2

Auf der Bissflügelaufnahme dieses Patienten könnte am Zahn 25 eine Läsion erahnt werden, allerdings ist die Diagnose unklar und diffus (Abb. 8). Auch die visuelle Diagnostik ergab keine genaue Befundung. Hingegen zeigt der Untersuchungsmodus des NIRI-Bildes deutlich die kariösen Läsionen am Zahn 25 mesial sowie distal (Abb. 9). Auch im Scanmodus waren die Defekte ersichtlich (Abb. 10). Nach dem Eröffnen bestätigte sich der dringende Behandlungsbedarf. Die Karies war bereits weit in das Dentin fortgeschritten (Abb. 11). Es folgten die gründliche und schonende Exkavation und das Legen von Füllungen. Ohne eine NIRI-Aufnahme wäre die Karies wahrscheinlich weiterhin unentdeckt geblieben und tiefer in den Zahn vorgedrungen.

Patient 3

Das nächste Fallbeispiel demonstriert die Realitätsgenauigkeit einer NIRI-Aufnahme und die scharfe Aussagekraft der Bilder. Mit dem bloßen Auge ist bei dem Patienten kein pathologischer Befund feststellbar. Der Untersuchungsmodus zeigt an den beiden Prämolaren je eine Läsion (Abb. 12). Bei der Betrachtung des Scans ist eine spitze und eine breitere Läsion sichtbar (Abb. 13). Nach dem Aufbohren der Kavität zeigte sich die Exaktheit der NIRI-Diagnostik. Die Läsionen entsprachen genau der Dimension, wie sie im NIRI-Untersuchungsmodus angezeigt worden war (Abb. 14). Diese hohe Präzision erlaubt ein sehr zielgerichtetes Vorgehen und gibt im Praxisalltag die notwendige Sicherheit für Therapieentscheidungen.

copyright by Ingo Baresel all rights reserved Quintessenz

Abb. 8 Bissflügelaufnahme mit unklarer Diagnose am Zahn 25.

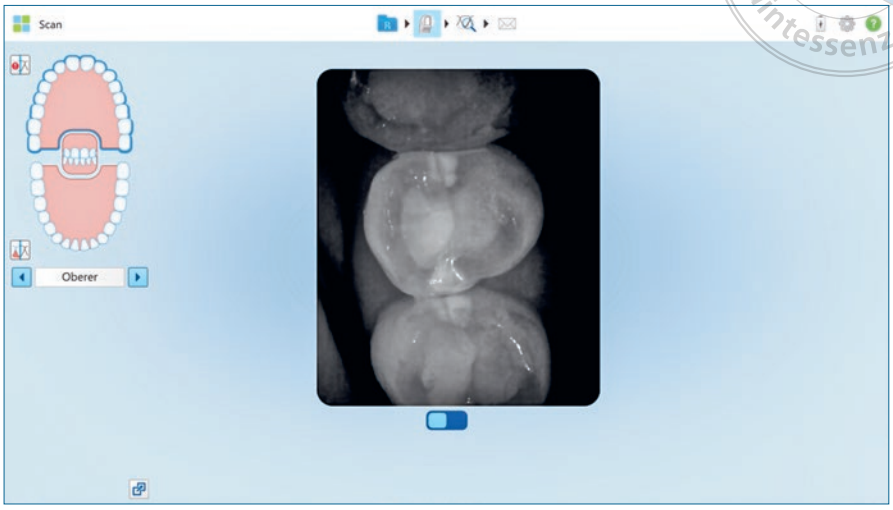


Abb. 9 NIRI-Untersuchungsmodus mit deutlicher Darstellung der mesialen und distalen Defekte.

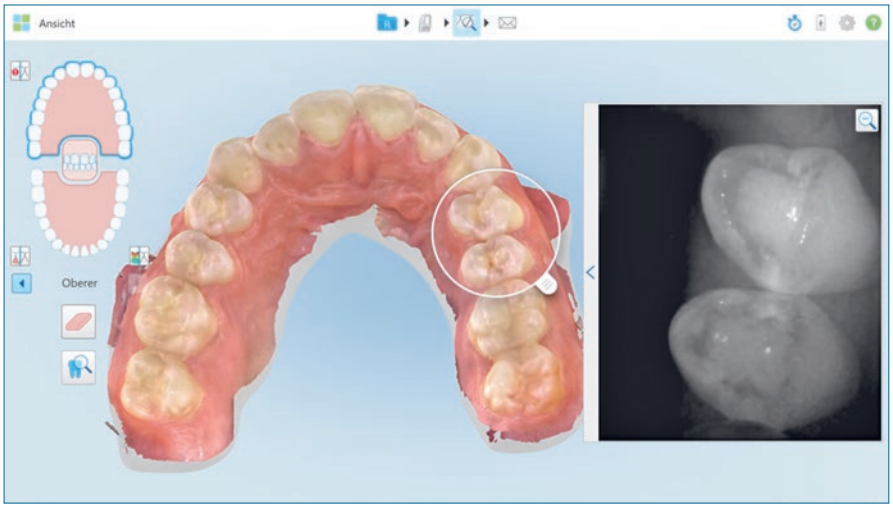


Abb. 10 Scan-Ansicht mit sichtbaren Defekten.

Abb. 11 Situation nach dem Exkavieren der tiefreichenden Karies bis in das Dentin hinein.

copyright by all rights reserved Quintessenz

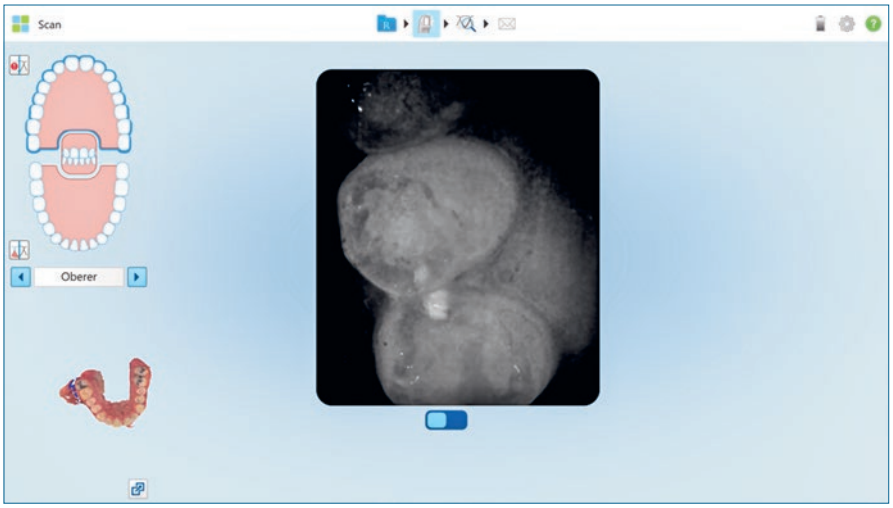


Abb. 12 NIRI-Untersuchungsmodus zeigt eine spitzere und breitere Läsion an den Zähnen 24 und 25.

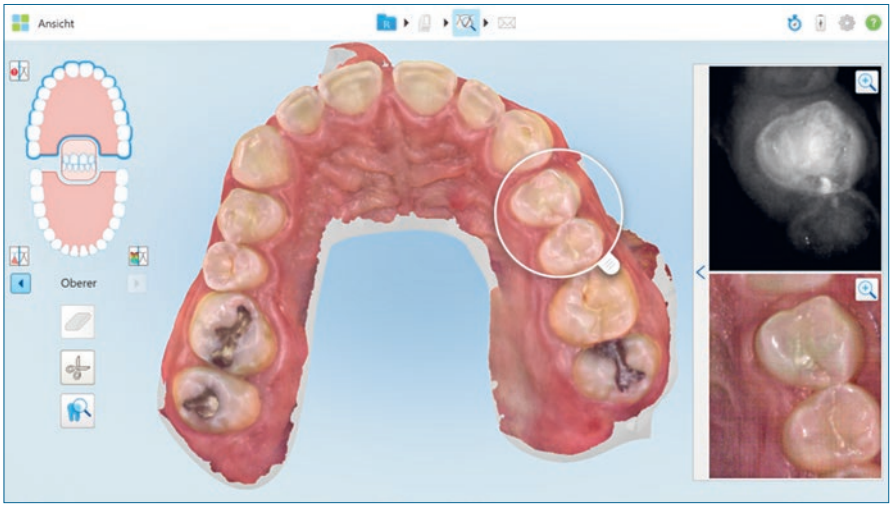


Abb. 13 Scan-Bild derselben Situation.

Abb. 14 Eröffnete Kavitäten an Zähnen 24 und 25 mit exakt der gleichen Ausdehnung wie im NIRI-Bild ersichtlich.

Patient 4

Auch im vierten Fallbeispiel zeigte sich die klinisch-visuelle Untersuchung ohne Befund. Eine mögliche distale Aufhellung am unteren Sechser lässt sich auf dem klinischen Bild erahnen, sofern man explizit darauf hingewiesen wird (Abb. 15). Mit der Bissflügelaufnahme kann eine kariöse Läsion diagnostiziert werden, die genaue Ausdehnung ist jedoch unklar (Abb. 16). Hingegen lässt sich im NIRI-Untersuchungsmodus mit Sicherheit eine diagnostische Aussage treffen. Im distalen Bereich des unteren Sechsers ist eine kleine kariöse Läsion deutlich erkennbar (Abb. 17), deren Ausdehnung sich nach der Eröffnung bis tief in das Dentin darstellte (Abb. 18). Der Zahn konnte aufgrund einer rechtzeitigen Diagnostik auf minimalinvasivem Weg therapiert und gefüllt werden.

Vorteile der NIRI-Technologie in der Kinderzahnheilkunde

Hohe Relevanz hat die NIRI mit dem Intraoralscanner auch in der Kinderzahnheilkunde. Einerseits ist dies auf die komfortable Anwendung zurückzuführen. Kinder akzeptieren ohne jedwede Ängste die Kontrolle mit dem Scanner im Mund (Abb. 19). Die Dar-

copyright by Ingo Baresel all rights reserved Quintessenz

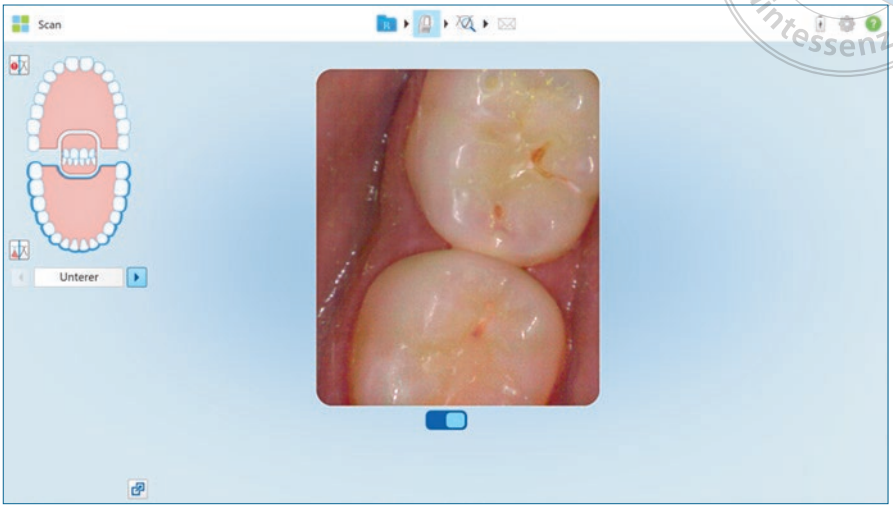


Abb. 15 Klinisches Bild mit leicht sichtbarer Aufhellung distal am unteren Sechser.

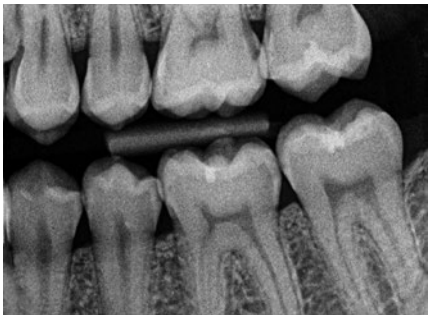


Abb. 16 Bissflügelaufnahme mit unklarer Aussagekraft und möglicher distaler Läsion am unteren Sechser.

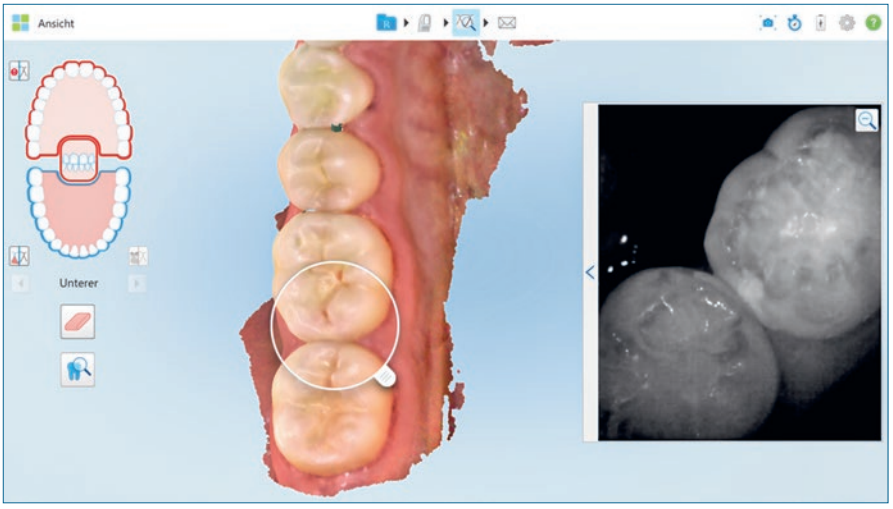


Abb. 17 Klare Diagnose auf dem NIRI-Scan bzw. im Untersuchungsmodus: kleine kariöse Läsion im distalen Bereich des Sechsers.

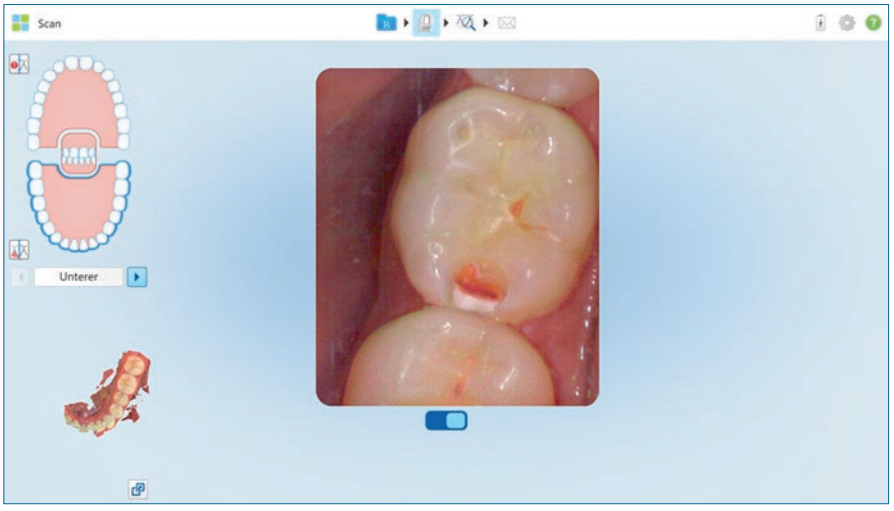


Abb. 18 Situation nach der Exkavation der Karies.

copyright by all rights reserved Quintessenz

Abb. 19 Anwendung des Intraoralscanners zur Kariesdiagnostik bei Kindern.

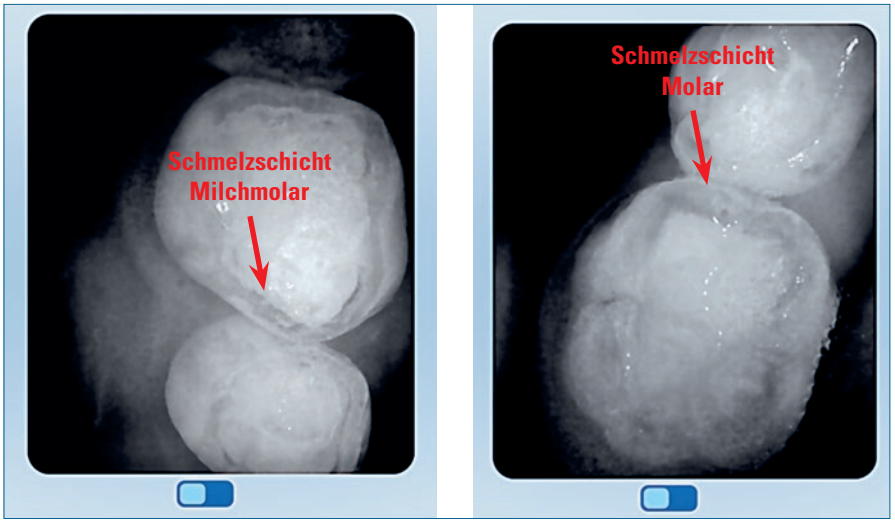


Abb. 20 Unterschiede in der Zahnstruktur von Milchzähnen und bleibenden Zähnen.

stellung ihrer Zähne auf dem Monitor erinnert eher an einen Tabletcomputer als an ein zahnärztliches Instrument. Andererseits ist die Wichtigkeit einer frühzeitigen Kariesdiagnose bei Milchzähnen zu betonen. Die deutlich dünneren Schmelzschichten sowie das markante Volumen der Pulpa lassen den Verlauf einer kariösen Erkrankung schnell problematisch werden (Abb. 20). Aufgrund des raschen Fortschreitens der Karies gilt es im Milchgebiss einmal mehr, zu einem möglichst frühen Zeitpunkt die Diagnose zu stellen und Maßnahmen einzuleiten. Wird Karies im Milchzahn mit bloßem Auge diagnostiziert, zieht die Therapie in der Regel invasive Maßnahmen nach sich. Zwar kann eine Bissflügelaufnahme in vielen Fällen konkrete Hinweise auf kariöse Läsionen geben, doch sie gerät an Grenzen, z. B. was die genaue Interpretation (z. B. Überlappung der approximalen Kontakte) oder die frühestmögliche Diagnostik im Anfangsstadium betrifft. Zudem ist erneut auf die Röntgenbelastung hinzuweisen, die gerade in der Kinderzahnheilkunde im Praxisalltag immer wieder argumentativ abgewogen werden sollte. Eine weitere Limitation der Bissflügelaufnahme stellt das Kind selbst dar, denn nicht immer ist

copyright by all rights reserved Quintessenz

von einer guten Kooperation auszugehen. Das Röntgen kann damit erschwert sein. Eine Kariesdiagnostik mit dem Intraoralscanner hingegen erfährt erfahrungsgemäß bei Kindern bzw. deren Eltern eine sehr hohe Akzeptanz.

Diskussion

NIRI ist eine moderne Technologie für die Kariesdiagnostik. Die Anwendung ist komfortabel. Bei jedem Scan, der z. B. bei restaurativen Behandlungen mit dem Intraoralscanner vorgenommen wird, kann zugleich eine Kariesdiagnostik erfolgen. Bei anderen Intraoralscannern mit integrierten Kariesdiagnostik-Systemen müssen Scanköpfe gewechselt und ein zusätzlicher Scan vorgenommen werden.

Geeignet ist die Kariesdiagnostik mit der NIRI-Technologie theoretisch für jeden Patienten, wobei es Grenzen in der Darstellung und Detektion gibt. Limitiert ist die Technologie bei vorhandenen Restaurationen (Sekundärkaries) oder sehr tief subgingival liegenden, kariösen Läsionen. Hier sind konventionelle Bissflügelaufnahmen nach wie vor unverzichtbar. Doch gerade bei Kindern, Jugendlichen und Patienten mit restaurationsfreien Gebissen führt die NIRI-Kariesdiagnostik zu einer Reduzierung von Bissflügelaufnahmen sowie aufgrund der frühestmöglichen Diagnostik zu deutlich weniger invasiven Therapiemaßnahmen. Es gilt zu betonen, dass die Kariesdiagnostik nicht delegiert werden darf. Während ggf. die Datenerfassung von einer erfahrenen Fachkraft vorgenommen werden kann, unterliegt die Auswertung der NIRI-Daten dem originären Aufgabenbereich des Zahnarztes. Die Entscheidung, welche Läsionen zu behandeln sind und welche nicht, bedarf eines Lernprozesses, der Erfahrung des Zahnarztes und des gewissenhaften Umganges beim Lesen der dargestellten Bilder, um beispielsweise eine Überdiagnostik zu vermeiden.

Da die Interpretation der Bilder – wie bei allen diagnostischen Bildgebungsverfahren – zu einem Teil von der Erfahrung und subjektiven Meinung des Anwenders abhängig ist, wären intelligente, computergestützte Hilfestellungen der nächste Schritt in der Entwicklung. Wünschenswert ist eine Monitoring-Funktion, die ähnlich wie bei Abrasionen oder Zahnbewegungen Scans von unterschiedlichen Zeiträumen automatisch miteinander vergleicht. Der Zahnarzt sieht den Vergleich der Situationen zwischen den unterschiedlichen Recalls ohne zusätzliche Arbeitsschritte. Zudem ist es absehbar, dass Scanner in naher Zukunft auf Basis künstlicher Intelligenz (KI) automatisch darstellen, in welchen Bereichen Karies zu erwarten ist[6]. Der Scanner signalisiert dem Zahnarzt, welche Areale näher betrachtet werden sollten. KI interpretiert Kariesdetektion: Aus vorhandenen Scans und der Interpretation verschiedenster Experten lernen die Algorithmen des Systems („Deep learning machine“). Das intelligente Kariesmonitoring hilft dem Zahnarzt, kariöse Prozesse korrekt einzuschätzen und entsprechende Entscheidungen zu treffen. Gerade im Bereich der Diagnostik wird die KI in der Zukunft großen Einfluss in der (Zahn-)Medizin gewinnen.

Zusammenfassung

Die Kariesdiagnostik mit dem iTero Element 5D Intraoralscanner verändert die Denk- und Arbeitsweise im Praxisalltag. Der Intraoralscanner wird zu einem Allround-Tool, das mehr als den „Abdruck-Scan“ oder das Monitoring ermöglicht. Das dentale Bildgebungssystem zeichnet gleichzeitig 3-D-, intraorale Farb- und NIR-Bilder in Echtzeit auf. Die NIRI-Technologie ist hierbei ein wertvolles diagnostisches Hilfsmittel, das fast täglich und bei einer Vielzahl von Patienten im Einsatz ist. Approximale Kariesläsionen oberhalb der Gingiva werden zu einem frühen Zeitpunkt erkannt. Der Scanner dient zudem als Kommunikationsgerät. Die Patientenberatung verbessert sich, die Akzeptanz ist hoch. Einerseits ist das Vorgehen ohne schädliche Strahlung bei der Kariesdiagnostik ein positives Argument. Andererseits kann die Notwendigkeit einer Behandlung nachdrücklicher begründet werden. Dies ist insbesondere bei mit bloßem Auge nicht sichtbaren und beschwerdefreien Läsionen ein Vorteil für die Verständigung mit dem Patienten. Erläuterungen anhand eines Röntgenbildes sind für den Laien kaum nachvollziehbar. Hingegen ist der NIRI-Scan klar und eindeutig erfassbar. Des Weiteren ist die beschriebene Diagnostik oft genauer und realistischer als klassische Methoden. Während bei Bissflügelaufnahmen kariöse Läsionen angezeigt werden,

copyright by all rights reserved Quintessenz

die in der Realität oft umfassender sind als das Bild vermuten lässt, bildet NIRI exakt den Ist-Zustand ab. Allerdings werden Bissflügelaufnahmen nach wie vor benötigt, z. B. für die Kariesdiagnostik unter Füllungen, am Rande von Füllungen oder im Bereich der Wurzel.

Grundsätzlich gilt die NIR-Bildgebung als akzeptierte ergänzende Maßnahme in der zahnärztlichen Diagnostik und ist für viele Zahnärzte Bestandteil des modernen Kariesmanagements. In Kombination mit dem Intraoralscanner wird die NIR-Bildgebung als NIRI zur wertvollen Unterstützung im Praxisalltag, welche die Strategien der konservierenden Kariestherapie maßgeblich verändert. Der Fokus liegt auf dem Kariesmonitoring und einer Patientenbehandlung, die so minimalinvasiv wie möglich vorgenommen wird.

Literatur

1. Abdelaziz M, Krejci I. DIAGNOcam – A near infrared digital imaging transillumination (NIDIT) technology. Int J Esthet Dent. Spring 2015;10(1):158–165.
2. Abogazalah N, Ando M. Alternative methods to visual and radiographic examinations for approximal caries detection. J Oral Sci 2017;59(3):315–322.
3. Adeyemi AA, Jarad FD, Komarov GN, Pender N, Higham SM. Assessing caries removal by undergraduate dental students using quantitative light-induced fluorescence. J Dent Educ 2008;72(11):1318–1323.
4. Angelino K, Edlund D, Shah P. Near-infrared imaging for detecting caries and structural deformities in teeth. IEEE J Transl Eng Health Med 2017;5: 2300107. Internet: https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=7904594. Abruf: 08.05.2021.
5. Bühler CM, Ngaotheppitak P, Fried D. Imaging of occlusal dental caries (decay) with near-IR light at 1310-nm. Opt Express 2005;13:573–582.
6. Casalegno F, Newton T, Daher R et al. Caries detection with near-infrared transillumination using deep learning. J Dent Res 2019; 98(11):1227–1233.
7. Davies GM, Worthington HV, Clarkson JE, Thomas P, Davies RM. The use of fibre-optic-transillumination in general dental practice. Br Dent J 2001; 191(3):145–147.
8. Diniz MB, Rodrigues JA, Hug I, Cordeiro Rde C, Lussi A. The influence of pit and fissure sealants of infrared fluorescence measurements. Caries Res 2008;42(5):328–333.
9. Frencken J, Peters CM, Manton DJ et al. Minimal intervention dentistry (MID) for managing dental caries – A review Report of a FDI task group. Int Dent J 2012;62(5): 223–243.
10. Fried D, Featherstone JDB, Darling CL et al. Early caries imaging and monitoring with near-infrared light. Dent Clin North Am 2005;49(4):771–793.
11. Fried D, Jones R. Near-infrared transillumination for the imaging of early dental decay. United States Patent No. 2006 0223032 A1, 2006. Internet: https://patentimages.storage.googleapis.com/fd/d5/b9/dddb9dd190e96d/US20060223032A1.pdf. Abruf: 08.05.2021.
12. Hwang SY, Choi ES, Kim YS et al. Health effects from exposure to dental diagnostic X-rays. Environ Health Toxicol 2018;22(4): e2018017.
13. König KG, Schneckenburger H, Hibst R. Time-gated in vivo autofluorescence imaging of dental caries. Cell Mol Biol 1999; 45(2):233–239.
14. Krause F, Braun A, Frentzen M. Beeinflussung von Laser-Fluoreszenz-Messungen durch die Versieglung von Fissuren. DZZ 2002;23–24.
15. Kühnisch J, Bücher K, Hickel R. The intra/inter-examiner reproducibilty of the new DIAGNOdent pen on occlusal sites. J Dent 2007a;35(6): 509–512.
16. Kühnisch J, Söchtig F, Pitchika V et al. In vivo validation of near-infrared light transillumination for interproximal dentin caries detection. Clin Oral Investig 2016;20(4):821–829.
17. Litzenburger F, Heck K, Pitchika V et al. Inter- and intraexaminer reliability of bitewing radiography and near-infrared light transillumination for proximal caries detection and assessment. Dentomaxillofac Radiol 2018;47(3):20170292.
18. Lussi A, Imwinkelried S, Pitts N, Longbottom C, Reich E. Performance and reproducibility of a laser fluorescence system for detection of occlusal caries in vitro. Caries Res 1999;33(4): 261–266.
19. Lussi A. Impact of including or excluding cavitated lesions when evaluating methods for the diagnosis of occlusal caries. Caries Res 1996;30(6):389–393.

copyright by all rights reserved Quintessenz

20. Marinova-Takorova M, Panov V. Effectiveness of near-infrared transillumination in early caries diagnosis. Biotech Biotechnol Equip 2016;30(6):1–5.
21. Neel Shyam VK, Dharshini TP, Raghavi D et al. IR imaging for dental caries. Int J Trends Eng Technol 2018;28(1):15–19.
22. Olmez A, Tuna D, Oznurhan F. Clinical evaluation of diagnodent in detction of occlusal caries in childen. J Clin Pediatr Dent 2006; 30(4):287–291.
23. Poorterman JH, Weerheijm KL, Groen HJ, Kalsbeek H. Clinical and radiographic judgement of occlusal caries in adolescents. Eur J Oral Sci 2000;108(2): 93–98.
24. Richardson PS, McIntyre IG. The difference between clinical and bitewing detection of approximal and occlusal caries in Royal Air Force recruits-Abstract. Community Dent Health 1996;13 (2):65–69.
25. Schwendicke F, Splieth CH, Bottenberg P et.al. How to intervene in the caries process in adults: proximal and secondary caries? An EFCD-ORCA-DGZ expert Delphi consensus statement. Clin Oral Investig 2020;24(9):3315–3321.
26. Schwendicke F, Tzschoppe M, Paris S. Radiographic caries detection: A systematic review and meta-analysis. J Dent 2015; 43(8):924–933.
27. Shivakumar KM, Prasad S, Chandu GN, International caries detection and assessment system: A new paradigm in detection of dental caries. J Conserv Dent 2009; 12(1): 10–16.
28. Söchtig F, Hickel R, Kühnisch J. Caries detection and diagnostics with near-infrared light transillumination: Clinical experiences. Quintessence Int 2014;45(6):531–538.
29. Splieth CH, Kanzow P, Wiegand A, Schmoeckel J, Jablonski-Momeni A. How to intervene in the caries process: Proximal caries in adolescents and adults-a systematic review and meta-analysis. Clin Oral Investig 2020;24(5):1623–1636.
30. Stodt T, Attin T. Die Bissflügel-Röntgenaufnahme als Bestandteil der präventiven Zahnheilkunde – eine Übersicht. Schweiz Monatsschr Zahnmed 2004;114: 882–889.
31. Stookey G, González-Cabezas C. Emerging methods of caries diagnosis. J Dent Educ 2001;65: 1001–1006.
32. Young DA, Featherstone JDB. Need for new caries detection methods. Proc SPIE 1999;3593: 134–141.

Ingo Baresel

Dr. med. dent.

E-Mail: Ingo.Baresel@t-online.de

Obere Bahnhofstraße 22
90556 Cadolzburg