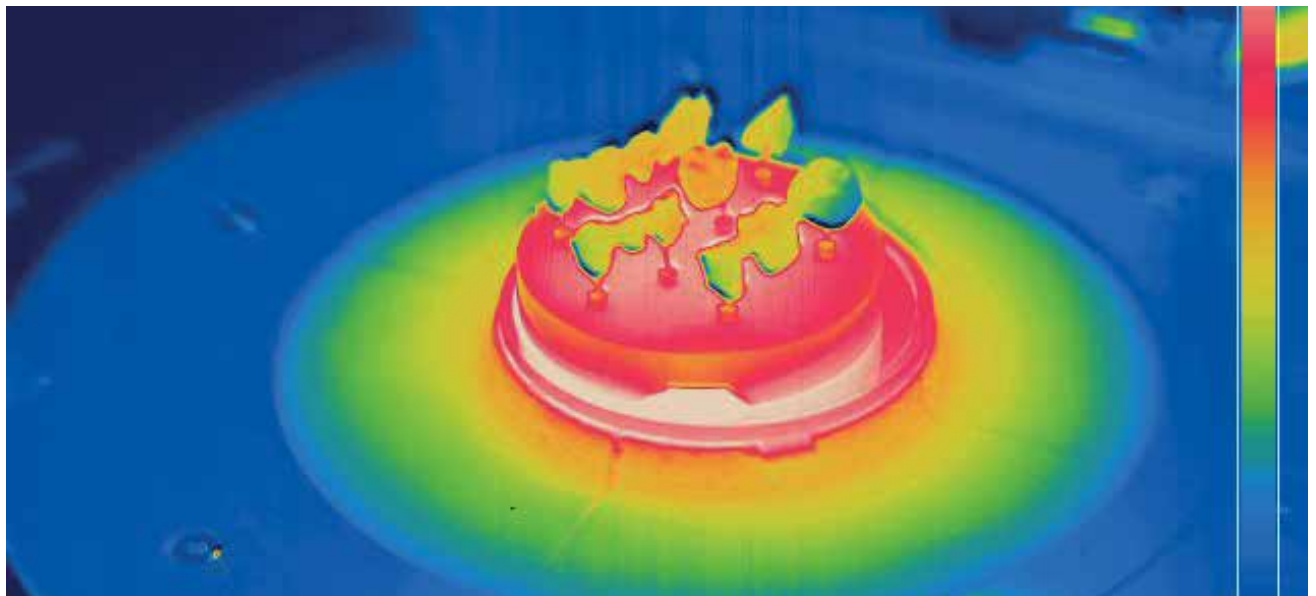




Einzug der **Infrarot-Wärmebildtechnologie** in den Bereich der dentalen Keramik-Brennöfen

Mit der Lancierung der Infrarot-Wärmebildtechnologie in dentalen Brennöfen hat die Firma Ivoclar Vivadent im Dentalmarkt für Aufsehen gesorgt. Die innovative Technik eröffnet ganz neue Möglichkeiten. Gleichzeitig treten jedoch Fragen hinsichtlich der Funktionsweise für zahntechnische Anwendungen auf. In diesem Fachartikel sollen diese Fragen erläutert werden.



Thema: **Infrarot-Wärmebildtechnologie im Bereich der dentalen Keramik-Brennöfen**

Autor: Robert Grünenfelder, Head of Departement, Equipment Systems & Projektleiter Programat P510
Ivoclar Vivadent AG, Bendererstrasse 2, FL-9494 Schaan

Was ist eine Infrarot-Wärmebildkamera?

Eine Infrarot-Wärmebildkamera ist eine Kamera, die Infrarotstrahlung empfängt, auswertet und darstellt. Das Verfahren, mittels einer Wärmebildkamera Bilder zu erzeugen, nennt man Thermografie. Die daraus gewonnenen Infrarotbilder gehen zurück auf Temperaturmessungen, die für das menschliche Auge nicht sichtbar sind, denn die Strahlen liegen im Infrarot-Bereich (IR Strahlung). Das menschliche Auge verfügt über Detektoren, die das sichtbare Licht (sichtbare Strahlung) erkennen. Wir können jedoch nur einen kleinen Teil des elektromagnetischen Strahlenspektrums sehen. Daneben gibt es andere Formen von Licht (oder Strahlung), die wir mit dem menschlichen Auge nicht sehen können (Abb. 1).

Am linken Ende des sichtbaren Lichtspektrums im Bereich von 400 nm können wir kein ultraviolettes Licht sehen. Auch am anderen Ende des Lichtspektrums bei 700 nm bleibt uns das Infrarotlicht verborgen.

Da die Menschen die Infrarotstrahlung mit den Augen nicht erkennen können, wird ein Trick angewendet. Für diese Darstellung werden sogenannte Falschfarbenbilder auf dem Anzeigedisplays der Kamera erzeugt. Mit Hilfe der Farbflächen der Falschfarbenbilder werden die Temperaturinformationen für das menschliche Auge sichtbar gemacht. Aus diesem Grunde ist die Thermografie ein bildgebendes Verfahren, das die für das menschliche Auge unsichtbare Wärmestrahlung

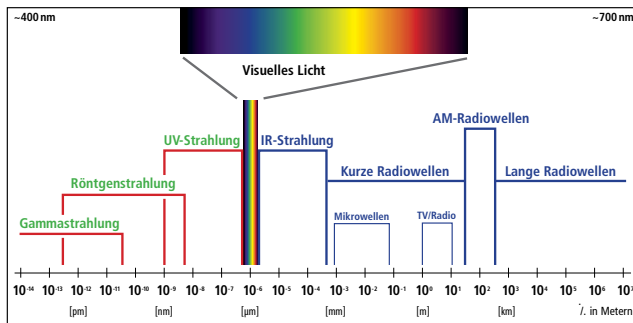


Abb. 1: Übersicht über das Strahlenspektrum.

(Infrarot-Strahlung) sichtbar macht. Abbildung 2 zeigt die Wärmestrahlung einer Personengruppe mittels Falschfarbenbild. Im Kopfbereich erkennen wir die grösste Wärmeausstrahlung (roter Bereich). Auf dem kleinen Bild (Abb.3) sehen wir die gleiche Personengruppe im für uns Menschen sichtbaren Lichtspektrum. Typischerweise wird die blaue Farbe für kalte Flächen und die rote Farbe für heisse Farbflächen verwendet.



Abb. 2 und 3: Foto einer Personengruppe mit Falschfarbenspektrum und ohne Falschfarbenspektrum.

Wärmebildtechnik: Wie funktioniert das?

Jeder Gegenstand und jedes Lebewesen, das eine Temperatur über dem absoluten Nullpunkt besitzt, sendet im Infrarotbereich Strahlen aus. Der absolute Nullpunkt befindet sich bei $-273,15$ Grad Celsius oder 0 Grad Kelvin. Auch Objekte, die wir als sehr kalt empfinden (Abb. 4), geben noch Infrarotwellen ab.

Die Wärme, die wir beim Sonnenlicht, bei einem Lagerfeuer oder einer heissen Herdplatte spüren, ist Ausdruck dieser Strahlung. Obwohl wir die Strahlung nicht sehen, kann

unsere Haut sie als Wärme fühlen. Je wärmer also ein Gegenstand ist, desto mehr Infrarotstrahlung geht von ihm aus.



Abb. 4: Auch Eis am Stiel strahlt noch „Wärme“ ab.

Machen wir einen Versuch. Drücken Sie Ihre Handfläche für einige Sekunden auf die Oberfläche einer Wand. Dabei überträgt sich ein Teil Ihrer Wärme auf die Oberfläche der Wand (Abb. 5). Entfernen Sie nun die Hand. Ein Teil der Wärme verbleibt trotzdem auf der Oberfläche und gibt Strahlung ab (Abb. 6).



Abb. 5: Handkontakt auf einer Wandoberfläche.



Abb. 6: Restwärmestrahlung nach Entfernen der Hand.

Wie misst die Wärmebildkamera?

Die von einem Gegenstand ausgesandte Infrarotenergie wird vom Kameraobjektiv einer Infrarotkamera durch einen Filter auf einen Detektor (Chip) fokussiert. Bei der normalen Digitalkamera ist kein Filter vorhanden (Abb. 7). Der Chip sendet die empfangenen Informationen zur Sensor-Elektronik, welche die Daten in der Software auswertet. Jetzt kann das Bild auf dem Display dargestellt und betrachtet werden. Mittels Falschfarbendarstellung kann nun eine Wärmebildkamera ein umfassendes Bild generieren. Auf diesem Bild sind, je nach Auflösung des Chips, auch kleinste Temperaturunterschiede zu erkennen. Somit nimmt die Infrarot-Kamera die Temperatur des Objektes wahr und nicht die Farbe, wie bei einer normalen Kamera.

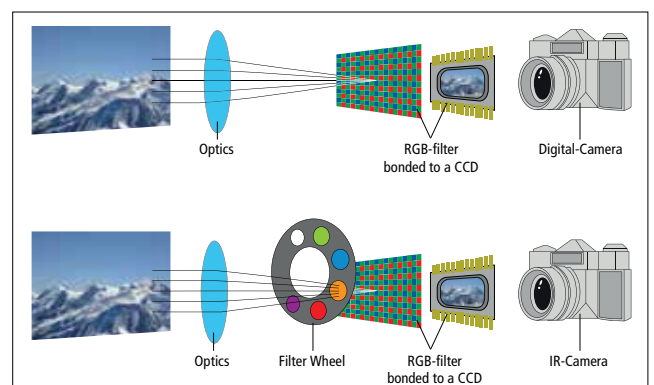


Abb. 7: Das technische Prinzip der Digitalkamera und IR-Kamera.

Wo wird die Technologie sonst eingesetzt?

Die Infrarot-Technologie wird sehr oft in der Bauthermografie eingesetzt. Sie dient der Kontrolle der Wärmedämmung von Dächern, der Analyse des Mauerwerks und der Fenster. Damit können aber auch Risse in Wänden oder Lecks in Rohrleitungen lokalisiert werden.



Abb. 8: Einsatz der Wärmebildkamera in der Bauthermografie.



Abb. 9: Feuerwehr mit Wärmebildkamera.

Die Feuerwehr nutzt Wärmebildkameras für das Aufspüren von Glutnestern bei Bränden und die Suche nach Personen in verrauchten Gebäuden, in denen keine Sicht vorhanden ist.

Seit ein paar Jahren verwendet auch die Automobilindustrie die IR-Technologie. Eingebaute Infrarotkameras erfassen in der Dämmerung oder Nacht abgestrahlte Wärme von Personen oder Tieren, die sich auf der Strasse oder am Strassenrand befinden. Diese Wärmestrahlen werden von der Software erkannt, in ein Bild umgesetzt und auf dem Display angezeigt (Abb. 10). Dadurch lassen sich potenzielle Gefahren frühzeitig erkennen und Unfälle vermeiden.

Die IR-Technologie wird auch in vielen anderen Bereichen, wie der Flugzeugindustrie, Medizintechnik und Qualitätssicherung erfolgreich eingesetzt.



Abb. 10: Einsatz von IR-Kameras in der Automobiltechnologie.

Wo befindet sich beim Programat P510 die Infrarotkamera?

Die Infrarot-Kamera ist beim Programat P510 im hinteren Bereich der Ofenkopf-Öffnungsmechanik hinter dem Abdeckblech eingebaut (Abb. 11). Damit die Linse die Brennobjekte sehen kann, braucht es eine entsprechende Aussparung im Abdeckblech. So ist die IR-Kamera vor der Wärme der Brennkammer geschützt und hat eine optimale Position, um Brennobjekte während des Vortrocknungsprozesses zu erkennen.

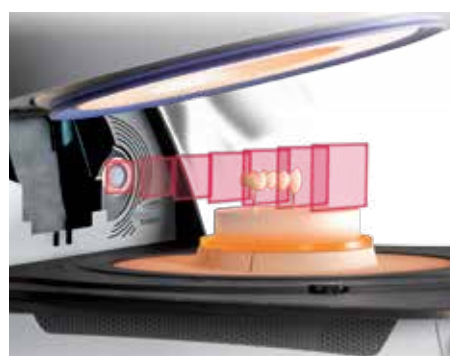


Abb. 11: IR-Sensorposition im Programat P510.

Da die IR-Kamera aus wärmetechnischen Gründen nicht direkt in die Brennkammer eingebaut werden kann, erfolgt die objektbezogene Temperaturmessung nur bei geöffnetem oder geschlossenem Zustand bis 30 mm. Die für die Keramik entscheidenden Prozesse finden während der Vortrocknung bei geöffnetem Ofenkopf statt. In dieser Phase kommt die IR-Kamera zum Einsatz.

Wie viele Pixel hat die IR-Kamera und wie viele Punkte können gemessen werden?

Ein Wärmebild der IR-Kamera des Programat P510 besteht aus ca. 1000 Messpunkten. Im Falle eines einzelnen dünnen Veneers befinden sich mindestens 2 Messpunkte auf dem dentalen Objekt. An einem grösseren Molar können dies bis zu 12 Messpunkte und mehr werden (Abb. 12 und 13). Die Fläche eines Messpunktes ist vom Abstand abhängig. Im Bereich des Brennsokkels, auf welchem die dentalen Restaurationen platziert werden, ist die Fläche eines Messpunktes immer kleiner als 2,5 mm x 2,5 mm.

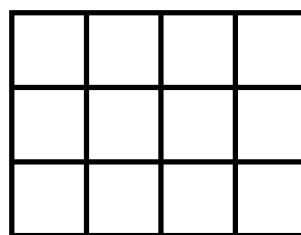


Abb. 12: Darstellung von Messpunkten.

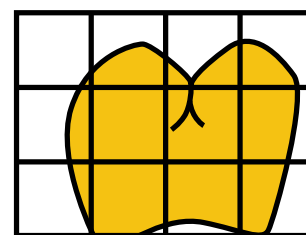


Abb. 13: Darstellung der Messpunkte auf einem Molarenzahn.

Was ist die Herausforderung beim Vortrocknungsprozess von Keramikmassen?

Der Vortrocknungsprozess bei einer Keramikmasse ist bekanntlich die entscheidende Phase hinsichtlich Rissbildung und Endqualität der Restauration.

Bis anhin wird der Vortrocknungsprozess bei konventionellen Dentalbrennöfen in der Regel über eine bestimmte Zeit und Temperatur gesteuert. Diese beiden Parameter entsprechen durchschnittlichen Erfahrungswerten und werden vom Hersteller in Brenntabellen dargestellt und Brennprogrammen hinterlegt.

Beispiel: *IPS e.max Ceram*
Schliesszeit: *6 Minuten*
Vortrocknungstemperatur: *300 °C*

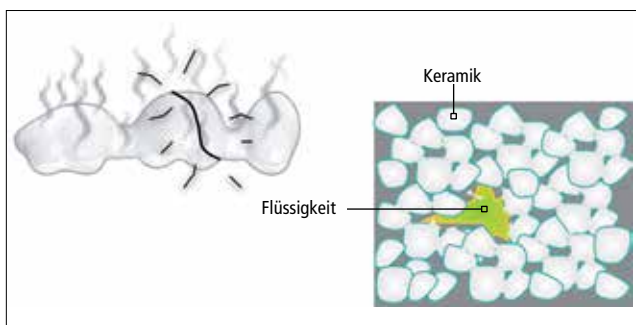


Abb. 14: Rissgefahr bei zu schneller Flüssigkeitsverdampfung in der Keramik.

Anhand dieser Erfahrungswerte geht man davon aus, dass die IPS e.max Ceram nach sechs Minuten ideal vorge-trocknet ist und sich sämtliche Flüssigkeiten aus der Keramik verflüchtigt haben. Dann startet der eigentliche Brennprozess. Würde sich nach diesem Vortrocknungsprozess noch viel Restfeuchtigkeit in der Keramik befinden, könnten durch eine zu schnelle Verdampfung der Flüssigkeiten Risse in der Restauration entstehen. Hat der Zahntechniker die Keramik zudem zu feucht geschichtet oder zu wenig verdichtet, könnten bei zu schneller Wärmezufuhr ebenfalls Probleme in der Keramik auftreten, da sich die Standard-Brennparameter nicht individuell anpassen.

Werden in einem Brennzyklus mehrere grosse und kleine Restaurationen verarbeitet, bedarf es grösster Sorgfalt. Bei grossen Objekten (Abb. 15) sollte die Schliesszeit, im Ver-

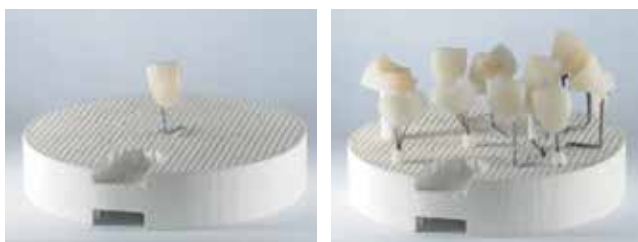


Abb. 15: Zwei Beispiele für eine unterschiedliche Beladung der Brennkammer.

gleich zur Standardeinstellung, entsprechend erhöht werden. Nur so lassen sich optimale Resultate erzielen. Bleibt das unberücksichtigt, kann es unter Umständen ebenfalls Sprünge oder Risse in der Keramik geben.

Die neue Infrarot-Technologie berücksichtigt diese unterschiedlichen Gegebenheiten und passt die Brennparameter individuell auf die jeweilige Situation an. Das System erkennt anhand der Temperaturunterschiede (Abb. 16), wann die

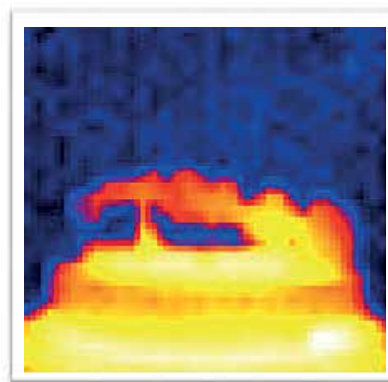


Abb. 16: Das Bild zeigt die Temperaturunterschiede an einer dentalen Struktur in Falschfarbendarstellung während dem Vortrocknungsprozess.

Flüssigkeit in der Keramik verdampft ist und schliesst dann den Ofenkopf. Dann startet die Software den eigentlichen Brennprozess. Dieser Vorgang ist weder für ein konventionelles Thermoelement noch für das menschliche Auge sichtbar.

So können Risse vermieden werden. Bei kleineren Restaurationen lässt sich der Prozess, im Vergleich zu konventionellen Prozessen, beschleunigen.



Abb. 17: Mit und ohne IRT gebrannter Opaker.

Die neue, berührungslose Infrarot-Messtechnik misst die Temperatur nun direkt auf dem Brennobjekt. Jeder Brennprozess kann individuell gesteuert werden.

Was sind die Messvorteile der objekt-bezogenen Infrarot-Technologie in dentalen Brennöfen, im Vergleich zu konventionellen Temperaturelementen?

Bei konventionellen dentalen Brennöfen diverser Dentalofenhersteller hat bislang ein Thermoelement die Temperatur in der Brennkammer gemessen. Dieses Thermoelement befindet sich in der Regel im oberen Bereich der Brennkammer. Das Brennobjekt ist etwas davon entfernt. Mit einem Korrekturfaktor in der Software wird die Temperatur am Brennobjekt bei geschlossenem Ofenkopf ermittelt (Abb. 18).

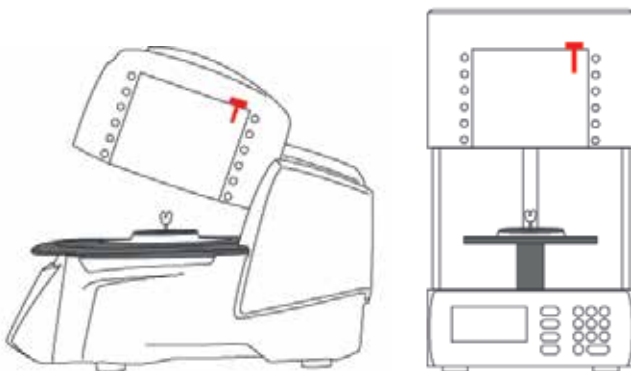


Abb. 18: Verschiedene Ofentypen mit schwenkbarem Ofenkopf oder Liftmechanismus

Während des Vortrocknens bei geöffnetem Ofenkopf kann Zugluft die Temperatur am Brennobjekt und am Thermoelement jedoch verfälschen (Abb. 19). Mögliche Temperaturabweichungen sind die Folge. Die voreingestellte Zeit (Schliesszeit und Vortrocknungszeit) nimmt darauf keine Rücksicht. Das Programm läuft standardmässig ab. Risse und Sprünge in der Keramik sind vorprogrammiert. Dies trifft für alle Ofentypen zu.

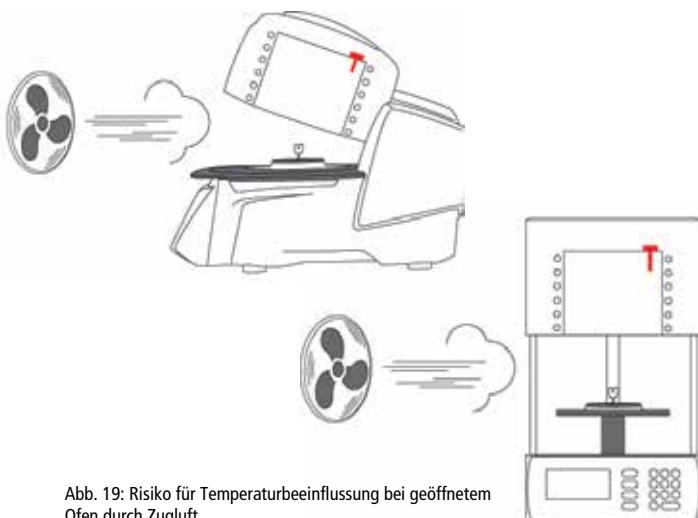


Abb. 19: Risiko für Temperaturbeeinflussung bei geöffnetem Ofen durch Zugluft

Die Infrarot-Kameratechnik erlaubt jedoch eine berührungslose Temperaturmessung direkt auf dem Brennobjekt. Der Programmat P510 mit Infrarot-Technologie benötigt keinen Korrekturfaktor, der die Temperatur auf dem Brennobjekt bei geöffnetem Ofenkopf schätzt. Selbst bei Zugluft ermittelt die IR-Technologie immer die exakte Temperatur auf der Oberfläche des Brennobjektes. Das ist der grosse Vorteil gegenüber Brennöfen mit konventionellen Verfahren (Abb. 20).

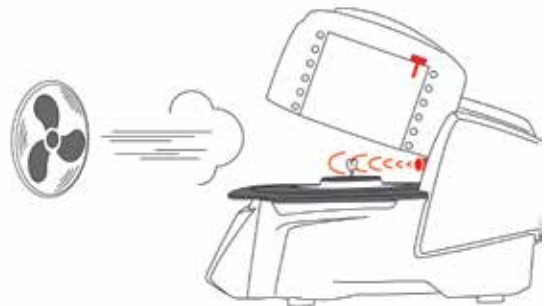


Abb. 20: Die IR-Technologie misst die Temperatur direkt auf dem Brennobjekt. Deshalb hat Zugluft keinen Einfluss auf das Messresultat.

Was sind die Vorzüge der Infrarot-Technologie für den Anwender?

Die Software ermittelt für jeden Brand die optimalen Vortrocknungs- und Schliessparameter. Die Temperaturmessung erfolgt direkt auf der Objekt Oberfläche. Die Position des Ofenkopfes oder Energie der Heizung werden vollautomatisch gesteuert.

Dadurch ergeben sich:

- eine höhere Prozesssicherheit
- eine bessere Qualität bei den Brennresultaten
- eine Zeitersparnis von bis 25%

Die zulässige und sichere Kontrolle des Vortrocknungsprozesses ist unabhängig:

- Objektgrösse
- Anzahl der Objekte (wenig oder viel Beladung)
- Feuchtigkeit der Oberfläche

Was muss bei der Positionierung der Objekte beachtet werden?

Die Infrarot-Kamera muss die Objekte gut sehen, um den Vortrocknungsprozess optimal steuern zu können. Aus diesem Grund sollten Brennobjekte richtig zur Kamera ausgerichtet werden. Die zur Kamera ausgerichtete Oberfläche sollte möglichst gross sein, um optimale Resultate zu erzielen (Abb. 21).

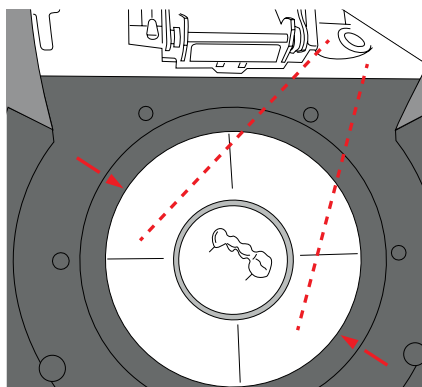


Abb. 21: Die Objekte sollten mit der grössten Fläche zur IR-Kamera ausgerichtet werden

Sind mehrere Restaurationen auf dem Brenngutträger aufgebracht, sollte immer die Restauration mit der grössten Oberfläche zur IR-Kamera ausgerichtet sein. Kleinere Restaurationen sind durch ihre geringere Masse eher vorgetrocknet als grössere (Abb. 22).



Abb. 22: Das grössere Brennobjekt muss immer im Vordergrund zur IR-Kamera positioniert werden

Weitere Tipps zur korrekten Positionierung und Ausrichtung der Brennobjekte zusammen mit Hinweisen zur Verarbeitung von Keramiken im Programmat P510 in Verbindung mit der Infrarot-Technologie finden Sie in der Bedienungsanleitung und den FAQ-Unterlagen.

Zusammenfassung

Die Infrarot-Technologie nimmt heute eine Vorreiterrolle ein. Sie ist aus vielen Industriezweigen nicht mehr wegzudenken. Im Programmat P510 kommt die Technologie nun erstmals auch in dentalen Brennöfen zur Anwendung. Die Vorteile liegen klar auf der Hand: eine höhere Prozesssicherheit, eine bessere Qualität und zum Teil schnellere Brennprozesse. Häufig gehen neue Technologien auch mit einer Veränderung der bisherigen Arbeitsweise einher. Doch im Falle der Infrarot-Wärmebildtechnologie im P510 sind sie marginal. Die Vorteile überwiegen. Deshalb ist der Einzug der IR-Technologie in dentale Brennöfen eine enorme Bereicherung für die Dentalwelt.