

Tobias Otto

T. Otto<sup>a</sup>, W. H. Mörmann<sup>b</sup>

## Clinical performance of chairside CAD/CAM feldspathic ceramic posterior shoulder crowns and endocrowns up to 12 years

### Klinische Bewährung von chairside hergestellten CAD/CAM-Schulter- und Endokronen aus Feldspatkeramik im Seitenzahnbereich nach bis zu 12 Jahren

#### Zusammenfassung

In einer Gruppe von 55 Patienten wurden 25 Endokronen (Testgruppe) und 40 Schulterkronen (Kontrollgruppe) in einer Zahnarztpraxis mithilfe der Cerec-3-(CAD/CAM-) Methode (Sirona, Bensheim) im Chairside-Verfahren aus Feldspatkeramik (Vita Mark II, Vita Zahnfabrik, Bad Säckingen) hergestellt. Die Kronen wurden in der Baseline-Untersuchung und nach bis zu 12 Jahren nach modifizierten USPHS-Kriterien untersucht. Die geschätzte Überlebenswahrscheinlichkeit wurde mithilfe der Kaplan-Meier-Analyse bewertet. Diese betrug für die Schulterkronen 95 % auf Molaren und 94,7 % auf Prämolaren. Die Endokronen zeigten eine Überlebenswahrscheinlichkeit von 90,5 % bei den Molaren und 75 % bei den Prämolaren. Statistisch gesehen waren die Unterschiede zwischen den geschätzten Überlebenswahrscheinlichkeiten nicht signifikant ( $p > 0,05$ ). Die Langlebigkeit der Cerec-3-Schulterkronen aus Vita Mark II auf Molaren und Prämolaren sowie die der Endokronen auf Molaren

#### Abstract

In 55 patients, 25 endocrowns (test) and 40 shoulder crowns (control) were produced chairside in a private practice using the Cerec 3 (CAD/CAM) method and Vita Mark II feldspathic ceramic. The crowns were examined at baseline and after up to 12 years using modified USPHS criteria. The survival estimate was assessed by Kaplan-Meier analysis. The 12 years survival estimate of the shoulder crowns was 95% on molars and 94.7% on premolars. Endocrowns showed 90.5% survival on molars and 75% on premolars. Statistically, the differences between the survival estimates were not significant ( $P > 0.05$ ). The longevity of Vita Mark II Cerec 3 shoulder crowns on molars and premolars, as well as of endocrowns on molars, proved to be – for private practice – a very acceptable result, while the premolar endocrowns tended to show a higher risk for failure.

**Keywords:** CAD/CAM, posterior endocrowns, survival estimate, shoulder crowns, feldspathic ceramic

a Dr. med. dent. Tobias Otto, Zahnarzt in Privatpraxis, Aarau, Schweiz

b Prof. Dr. med. dent. Werner H. Mörmann, Abteilung für Computer-gestützte Restaurative Zahnmedizin, Zentrum für Zahnmedizin der Universität Zürich, Schweiz

## Introduction

During the past years, the vision of routinely producing CAD/CAM all-ceramic crowns chairside via the dental laboratory or via a production center has become a real option for private practice. A variety of CAD/CAM systems are now available on the dental market, allowing the machining of crowns and crown copings based on digitally recorded preparation data (eg, Cerec, E4D, Lava, Cares).<sup>1</sup> The aim of producing and placing a ceramic restoration chairside in one appointment is the fundamental idea of the Cerec CAD/CAM method.<sup>2</sup> The positive long-term results of Cerec ceramic CAD/CAM inlays and onlays<sup>3–5</sup> of feldspathic ceramic using the Cerec 1 method have led to an expansion of the Cerec treatment options to include crowns.

In the year 2000, with the further improved Cerec 3, the handling of the system had become advanced enough to produce crowns directly at chairside in the clinical routine of a private practice and to place them within an acceptable period of time.<sup>6</sup> The idea of producing CAD/CAM “endo”-type crowns, however, was based on the extended versatility of machining the internal crown surface, first provided by Cerec 2 in 1998.<sup>7</sup> The CAD/CAM “endocrown” expands the conventional “monobloc technique” developed by Pissis<sup>8</sup> to replace the traditional metal post and core. Furthermore, experimental results regarding adhesive bonding options for etched feldspathic ceramic CAD/CAM restorations<sup>7,9</sup> suggested that adhesively placed endocrowns could be routinely used in private practice with long-term success. The objective of the current study was to evaluate the clinical performance of Cerec 3 CAD/CAM feldspathic ceramic posterior crowns with shoulder and endo preparations after up to 12 years.

## Materials and methods

### Patient selection

At baseline, 55 patients (32 female, 23 male) from a private dental practice were consecutively diagnosed as needing to receive new crowns on molars or premolars due to insufficient old reconstructions or tooth fractures. The mean age of the patients was 53 years (age range from 25 to 79 years). Patients were informed about the treatment options of a conventional porcelain fused to metal crown versus an all-ceramic CAD/CAM crown before they gave their consent. All patients presented with good oral hygiene and were integrated into the dental hygiene recall scheme of the dental practice.

erwiesen sich im Ergebnis für die Zahnarztpraxis als vollkommen akzeptabel, während die Endokronen auf den Prämolaren ein höheres Versagensrisiko zeigten.

**Schlüsselwörter:** CAD/CAM, Seitenzahnendokronen, geschätzte Überlebenswahrscheinlichkeit, Schulterkronen, Stufenpräparationen, Feldspatkeramik

## Einleitung

In den letzten Jahren ist die Vision, CAD/CAM-Vollkeramikronen routinemäßig chairside, über das Dentallabor oder über ein Produktionszentrum herzustellen, zu einer echten Option für Zahnarztpraxen geworden. Eine Vielzahl von CAD/CAM-Systemen auf dem Dentalmarkt ermöglicht inzwischen das Bearbeiten von Kronen und Kronenkappen auf der Grundlage von digital aufgenommenen Präparationsdaten (beispielsweise Cerec, E4D, Lava, Cares)<sup>1</sup>. Eine keramische Restauration chairside im Rahmen eines einzigen Termins herzustellen und einzusetzen, stellt die Grundidee der Cerec-CAD/CAM-Methode dar<sup>2</sup>. Die positiven Langzeitergebnisse für keramische Cerec-CAD/CAM-Inlays und Onlays<sup>3–5</sup> aus Feldspatkeramik nach der Cerec-1-Methode haben zu einer Ausweitung der Cerec-Behandlungsoptionen auf Kronen geführt.

Mit dem verbesserten Cerec-3-Verfahren war das System im Jahr 2000 endlich so benutzerfreundlich geworden, dass damit Kronen im Rahmen der Behandlung in einer Zahnarztpraxis direkt vor Ort innerhalb einer akzeptablen Zeitspanne hergestellt und eingesetzt werden konnten<sup>6</sup>. Die Idee zur Herstellung von CAD/CAM-Endokronen jedoch basierte auf dem flexibleren Formschleifen der internen Kronenoberfläche, das 1998 mit dem Cerec-2-System erstmals möglich wurde<sup>7</sup>. Die CAD/CAM-„Endokrone“ erweitert die konventionelle, von Pissis entwickelte „Monoblocktechnik“<sup>8</sup>, die den traditionellen Schraubenaufbau aus Metall ersetzen sollte. Darüber hinaus deuteten Versuchsergebnisse mit adhäsiven Bondingoptionen für CAD/CAM-Restorationen aus geätzter Feldspatkeramik<sup>7,9</sup> darauf hin, dass adhäsiv befestigte Endokronen mit guten Langzeitergebnissen routinemäßig in Zahnarztpraxen eingesetzt werden könnten. Das Ziel der vorliegenden Studie bestand in der Evaluierung der klinischen Bewährung von im Cerec-3-Verfahren CAD/CAM-gefertigten Seitenzahnkronen aus Feldspatkeramik mit Schulter- und Endo-Präparation nach bis zu 12 Jahren.

## Material und Methoden

### Patientenauswahl

In der Baseline-Untersuchung wurde bei 55 Patienten (32 weiblich, 23 männlich) einer Zahnarztpraxis konsekutiv aufgrund von versagenden alten Rekonstruktionen oder Zahnfrakturen die Notwendigkeit einer neuen Krone auf Molaren oder Prämolaren diagnostiziert. Das mittlere Alter der Patienten betrug 53 Jahre (Altersspanne von 25 bis 79 Jahre). Die Patienten wurden über die Möglichkeiten der Behandlung mit einer konventionellen Verblendkrone und einer CAD/CAM-gefertigten Vollkeramikkrone informiert, bevor sie ihr Einverständnis gaben. Alle Patienten zeigten eine gute Mundhygiene und nahmen am Prophylaxeprogramm der Zahnarztpraxis teil.

Bei Studienbeginn wurden 65 CAD/CAM-gefertigte Kronen (40 Kronen mit Schulterpräparation sowie 25 Endokronen) konsekutiv bei 55 Patienten auf 24 Unterkiefer- und 17 Oberkiefermolaren sowie 15 Oberkiefer- und 9 Unterkieferprämolaren (Tab. 1) befestigt. Die Funktionszeit aller CAD/CAM-gefertigten Kronen lag bei der Nachkontrolle zwischen 9 Jahren und einem Monat und 12 Jahren und 2 Monaten; die mittlere Funktionszeit betrug 10 Jahre und 8 Monate.

### Klinisches Vorgehen

Alle CAD/CAM-gefertigten Kronen wurden mithilfe der Cerec-3-Aufnahmeeinheit (Redcam, Sirona) und der Cerec-3-Schleifeinheit (Sirona) hergestellt. In 53 Fällen wurde der Funktionsmodus der Kronensoftware (Version 1.20R800) verwendet. In 12 Fällen wurden die Cerec-Kronen im Korrelationsmodus entworfen. Ein Kofferdam (Ivory, Heraeus Kulzer, Hanau) wurde gelegt, um ein trockenes Behandlungsfeld zu schaffen. Die Präparation und die Nachbarzähne wurden mit Scanpulver (Cerec Powder, Vita Zahnfabrik) besprenkelt.

Die Präparation erfolgte mit einem Diamantschleifer (90 µm), wobei die Präparationsränder mit Diamantfinierern (40 µm) (Uniprep C&B-Set, Intensiv, M&W, Dental Swiss AG, Illnau) ausgearbeitet wurden. Für acht Kontrollkronen, die auf einen ausreichenden Schraubenaufbau gesetzt werden konnten, wurde eine Schulterpräparation mit einem Konvergenzwinkel von etwa 12° durchgeführt. Für die übrigen Kontrollkronen wurden – in Abhängigkeit vom Umfang des kariösen Defekts oder

**Table 1** Distribution of Cerec CAD/CAM crowns at baseline. Shoulder crowns included 32 vital teeth with “reduced” preparations and 8 root-filled teeth with “classic” preparations

**Tab. 1** Verteilung der Cerec-CAD/CAM-Kronen bei Studienbeginn. Die Schulterkronen verteilten sich auf 32 vitale Zähne mit „reduzierten“ Präparationen und 8 Zähne mit Wurzelfüllung und „klassischen“ Präparationen.

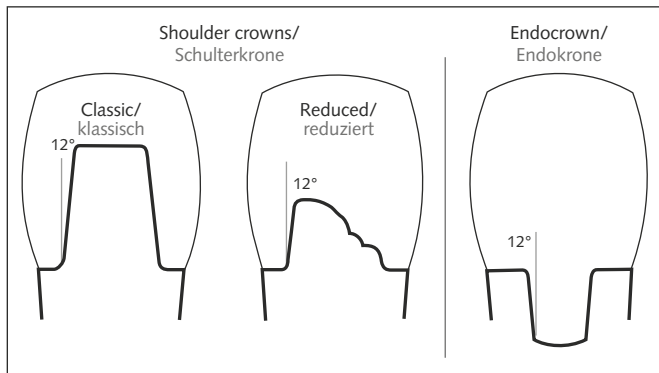
Distribution of Cerec CAD/CAM crowns/ Verteilung der Cerec-CAD/CAM-Kronen					
Crown type/ Kronentyp	Molars/ Molaren n = 41		Premolars/ Prämolaren n = 24		Total/ Gesamt
	Upper/ oben	Lower/ unten	Upper/ oben	Lower/ unten	
Shoulder crowns*/ Schulterkronen*	8	13	12	7	40
Endocrowns**/ Endokronen**	9	11	3	2	25
Total/Gesamt	17	24	15	9	65

\* ≈ 1.2 mm shoulder, 12 degree taper; \*\* ≈ 1 to 2 mm shoulder, pulp chamber cavity (Fig 1)/ \* ≈ 1,2 mm Schulter, 12° Konvergenzwinkel; \*\* ≈ 1-2 mm Schulter, Pulpakammerkavität (Abb. 1)

At baseline, 65 CAD/CAM crowns were placed consecutively in 55 patients, namely 40 crowns with shoulder preparations and 25 endocrowns. The crowns with shoulder and endo preparations were placed in 24 mandibular and 17 maxillary molars, and in 15 maxillary and 9 mandibular premolars (Table 1). The mean clinical service time at follow-up examination of all CAD/CAM crowns was 10 years and 8 months, ranging from 9 years and 1 month up to 12 years and 2 months.

### Clinical procedure

All CAD/CAM crowns were produced with the Cerec 3 Red Cam acquisition unit and the Cerec 3 form-grinding unit (Sirona). In 53 cases, the function mode of the crown software (Version 1.20 R800) was used. In 12 cases, the Cerec crowns were designed in the correlation mode. A rubber dam (Ivory, Heraeus Kulzer) was placed to secure a dry field. The preparation and the neighboring teeth were covered with scan powder (Cerec Powder, Vita).



**Fig 1** The preparation forms “classic” and “reduced” were summarized as shoulder crowns and served as a control group for the “endocrown” preparation.

**Abb. 1** Die Präparationsformen „klassisch“ und „reduziert“ wurden unter „Schulterkrone“ zusammengefasst und dienen als Kontrollgruppe für die „Endokrone“-Präparation.

The preparation was conducted with a 90 µm diamond bur, with the preparation margins being contoured with 40 µm diamond finishing burs (Uniprep Set C&B, Intensiv). For the control crowns, in eight cases with sufficient post and core buildups, a shoulder preparation was performed with a wall taper of approximately 12 degrees. For the remainder of the control crowns, defect-oriented preparation forms were used in vital teeth, depending on the circumference of the carious defect or of defects after the removal of the remaining restoration material, without buildups (n = 32). Of the non-vital teeth (n = 33), in 25 cases where the teeth had just previously undergone a root canal treatment, residual supragingival external thin walls were shortened down to an epigingival level, and the internal walls of the open pulpal cavity of the tooth were prepared to form a retention cavity for the crown, characterizing the so-called “endo” preparation<sup>7</sup> (Fig 1).

With an epigingival or slightly subgingival (0.5 mm) location of the preparation margin, retraction cord (Ultrapak, Ultradent) was placed. The crowns were designed on the screen, based on the intraoral optical impression of the preparation, and were subsequently machined chairside from a feldspathic ceramic block (Cerec Vitablocs Mark II, Vita) in the Cerec 3 grinding unit. The crowns machined in this fashion were tried in and tested for accuracy of fit (Fit Checker, GC Dental). The proximal surfaces were pre-polished. No color characterization or glazing took place. The internal surfaces of the crowns were etched with 5% hydrofluoric acid (Ceramics Etch, Vita) and silanized (Vitasil, Vita). Remaining enamel was etched for 20 s with 35% phosphoric acid (Ultra-Etch, Ultradent) and a functional dentin/enamel adhesive (A.R.T. Bond, Coltène) was applied to the prepared enamel and dentin surfaces. The crowns were placed with a dual composite luting agent (Duo Cement Plus, Coltène) and cured with a halogen curing light (Coltolux 4, Coltène) 5 times 40 s.

der Defekte nach der Entfernung des verbliebenen Restaurationmaterials an vitalen Zähnen – defektorientierte Präparationsformen ohne Aufbau verwendet (n = 32). Bei den nicht vitalen Zähnen (n = 33) wurden in 25 Fällen, in denen die Zähne kurz zuvor einer Wurzelkanalbehandlung unterzogen worden waren, supragingival noch stehende dünne äußere Zahnwände auf Zahnfleischniveau gekürzt und die inneren Wände der offenen Pulpakammer zu einer Retentionskavität für die Krone umgebildet, ein typisches Merkmal der sogenannten „Endo“-Präparation<sup>7</sup> (Abb. 1).

Bei epigingivalem oder leicht subgingivalem (0,5 mm) Präparationsrand wurde ein Retraktionsfaden (Ultrapak, Ultradent, Brunthall) gelegt. Die Kronen wurden auf der Grundlage der intraoralen optischen Abformung der Präparation entworfen und anschließend chairside aus einem Feldspatkeramikblock (Vita Cerec Mark II) in der Cerec-3-Schleifeinheit formgeschliffen. Die so hergestellten Kronen wurden eingepasst und auf Passgenauigkeit geprüft (Fit Checker, GC Dental, Leuven, Belgien). Die proximalen Oberflächen wurden vorpoliert. Eine Farbcharakterisierung oder Glasur fand nicht statt. Die inneren Oberflächen der Kronen wurden mit 5%iger Fluorwasserstoffsäure (Ceramics Etch, Vita) angeätzt und silanisiert (Vitasil, Vita). Der restliche Zahnschmelz wurde 20 Sekunden lang mit 35%iger Phosphorsäure (Ultra-Etch, Ultradent) angeätzt und ein funktionales Schmelz-Dentin-Adhäsiv (A.R.T. Bond, Coltène, Altstätten, Schweiz) auf die vorbereiteten Schmelz- und Dentinoberflächen aufgetragen. Die Kronen wurden mithilfe eines dualen Komposit-Befestigungszements (Duo cement plus, Coltène) eingesetzt und mit einer Halogen-Polymerisationslampe (Coltolux 4, Coltène) fünfmal 40 Sekunden lang ausgehärtet.

Nach dem Entfernen des Kofferdams wurde die Okklusion untersucht und die Krone mit feinen Diamant-

instrumenten (40 µm und 15 µm, Composhape-Set, Intensiv, Montagnola, Schweiz) finiert. Weiterhin wurde überschüssiger Zement am Präparationsrand entfernt und die Krone mit flexiblen Polierscheiben (Sof-Lex, 3M Espe, Neuss), Interdentalpolierstreifen (3M) und Polierbürsten (Occlubrush, Hawe Dental, Rastatt) poliert. Die individuellen klinischen Kronenbehandlungen und die Kronenherstellung im Cerec-3-Verfahren erfolgten jeweils in einer Einzelsitzung. Die Behandlungszeit für den Patienten bis zum Abschluss der Kronenbehandlung lag je nach klinischer Situation zwischen 90 und 120 Minuten.

## Klinische Auswertung

An den zu überkronenden Zähnen wurde eine parodontale Untersuchung durchgeführt, in deren Rahmen die Taschentiefe sondiert sowie der Sulkus-Blutungs-Index<sup>10</sup> und der Plaque-Index<sup>11</sup> beurteilt wurden. Am Ende der Baseline-Untersuchung wurde jede Krone nach modifizierten USPHS-Kriterien<sup>12</sup> bewertet (Tab. 2). Nach einer Funktionszeit von bis zu 12 Jahren wurde an 61 von 65 Kronen eine klinische Nachkontrolle mit Spiegel und Sonde (XP23/12, Hu Friedy, Tuttlingen) sowie mit gewachster Zahnseide (ACT, Johnson & Johnson, Neuss) vorgenommen. Die Ergebnisse wurden erneut nach modifizierten USPHS-Kriterien bewertet (Tab. 3). Zusätzlich wurden die Patienten mithilfe von Fragebögen zu ihrer subjektiven Zufriedenheit und eventuellen postoperativen Beschwerden befragt. Die Empfindlichkeit wurde mittels CO<sub>2</sub>-Kältetest geprüft.

Kronen, die keine klinische Veränderung zeigten und keiner Nachsorge bedurften, wurden mit „Alfa“ bewertet. Kronen mit kleinen Defekten wie mäßigen Überhängen oder Unterschnitten oder leichten Veränderungen in Textur und Farbe, die das klinische Ergebnis nicht beeinflussten, erhielten die Bewertung „Bravo“. Mit „Charlie“ und „Delta“ wurden Kronen bewertet, die aufgrund von Frakturen, größeren Defekten oder Retentionsverlust repariert oder sogar ersetzt werden mussten.

## Statistische Analyse

Auf der Grundlage der klar definierten Erfolgskriterien wurde die geschätzte Versagensrate nach der Kaplan-Meier-Analyse<sup>13</sup> mit der Software Stata 11.0 (Stata Corporation)

After removal of the rubber dam, the occlusion was examined and the crown finished with fine 40 µm and 15 µm diamond burs (Composhape Set, Intensiv). Marginal excess cement was removed, and the crown was polished with flexible disks (Sof-Lex, 3M), interdental polishing strips (3M), and polishing brushes (Occlubrush, Hawe Dental). The individual clinical crown treatments and the Cerec 3 crown production were all completed in single sessions. The patient chair time for the full completion of the crown treatment ranged from 90 to 120 min, depending on the clinical situation.

## Clinical evaluation

A periodontal examination was conducted of the teeth to be crowned and their neighbors to assess probing pocket depth, the sulcus bleeding index,<sup>10</sup> and the plaque index.<sup>11</sup> At the end of the baseline appointment, each crown was rated using modified USPHS criteria<sup>12</sup> (Table 2). After clinical service times of up to 12 years, a clinical follow-up examination of 61 out of 65 crowns was conducted using mirror and explorer (XP23/12, Hu-Friedy), as well as waxed dental floss (ACT, Johnson & Johnson). The results were again rated using modified USPHS criteria (Table 3). In addition, questionnaires were used to find out about the patients' subjective satisfaction and potential postoperative discomfort. Sensitivity was tested using a carbon dioxide cold test.

Crowns that did not show any clinical alteration and that did not require any follow-up treatment were rated 'Alfa'. Crowns presenting minor defects, such as moderate overhangs or undercuts, or slight changes in texture and color that did not have any influence on the clinical result, were rated 'Bravo'. 'Charlie' and 'Delta' ratings were assigned to crowns that required repairs or even replacement due to fractures, major defects or loss of retention.

## Statistical analysis

Based on the clearly defined success criteria, the failure estimate was calculated according to the Kaplan-Meier analysis<sup>13</sup> with Stata 11.0 software (Stata). The hazard ratios for different predictors were calculated using the Cox proportional hazards model.<sup>14</sup> The level of significance of the shift from Alfa to Beta ratings between baseline and follow-up expressed in percent was calculated using the Wilcoxon signed-rank test.<sup>15</sup>

**Table 2** Modified USPHS criteria used for rating the crowns and checked with mirror, explorer, and waxed dental floss, where applicable

Tab. 2 Bewertung der Kronen nach modifizierten USPHS-Kriterien, überprüft mit Spiegel, Sonde und gegebenenfalls gewachster Zahnseide.

Margins/ Randanpassung	Alfa	Crown margin not discernible; Probe does not catch; No discoloration visible/ Kronenrand nicht erkennbar; Sonde bleibt nicht hängen; keine sichtbaren Verfärbungen
	Bravo	Probe catches on crown margin but no gap; Gap or chipping on probing, with enamel exposed but polishable; Slight discoloration visible but polishable/ Sonde bleibt am Kronenrand hängen, aber keine Lücke; Lücke oder Abplatzung beim Sondieren, Zahnschmelz freiliegend, aber polierbar; leichte sichtbare Verfärbung, jedoch polierbar
	Charlie	Gap or chipping, with dentin or liner exposed; Distinct discoloration visible, not polishable; Unacceptable/ Lücke oder Abplatzung, Dentin oder Liner freiliegend; deutlich sichtbare Verfärbung, nicht polierbar; inakzeptabel
	Delta	Partial fracture, fracture, luxation, or mobile (loose) restoration/ Partielle Fraktur, Fraktur, Luxation oder mobile (lose) Restauration
Anatomic form/ Anatomische Form	Alfa	Correct contour, with tight proximal contact; No wear facets on restoration; No wear facets on opposing teeth/ Korrekte Kontur mit engem proximalem Kontakt; keine Schliiffacetten an der Restauration; keine Schliiffacetten an gegenüberliegenden Zähnen
	Bravo	Slightly under- or overcontoured; Weak proximal contact; Small wear facets (< 2 mm diameter) on restoration and/or same on opposing teeth/ Leicht unter- oder überkonturiert; schwacher proximaler Kontakt; kleine Schliiffacetten (< 2 mm Durchmesser) an Restauration und/oder gegenüberliegenden Zähnen
	Charlie	Distinctly under- or overcontoured; No proximal contact; Large wear facets (> 2 mm diameter) on restoration and/or same on opposing teeth/ Deutlich unter- oder überkonturiert; kein proximaler Kontakt; große Schliiffacetten (> 2 mm Durchmesser) auf Restauration und/oder gegenüberliegenden Zähnen
Surface texture/ Oberflächen- textur	Alfa	Smooth, glazed or glossy surface/ Glatte, glasierte oder glänzende Oberfläche
	Bravo	Slightly rough or dull surface/ Leicht raue oder stumpfe Oberfläche
	Charlie	Deep pores or rough or unevenly distributed pits; Cannot be refinished/ Tiefe Poren oder raue oder ungleichmäßig verteilte Grübchen; lässt sich nicht nachfinieren
Color match/ Farbüberein- stimmung	Alfa	Restoration hardly detectable; Perfect match/ Restauration kaum erkennbar; ideale Übereinstimmung
	Bravo	Minimal mismatch in shade; One shade off (Vita shade guide)/ Minimale Abweichung im Farbton; ein Farbton Unterschied (Vita Farbskala)
	Charlie	Distinct difference in shade; More than one shade off/ Deutliche Abweichung im Farbton; mehr als ein Farbton Unterschied

## Results

Of the 65 Cerec shoulder crowns and endocrowns originally placed in 55 patients, 52 (95%) patients with 61 (94%) crowns were available for follow-up examination after a mean clinical service time of 9 years and 8 months (range 9 years and 1 month, to 12 years and 2 months). According to the questionnaire, all patients were satisfied or very satis-

berechnet. Die Hazard Ratios für verschiedene Prädiktoren wurden mithilfe der Cox-Regression<sup>14</sup> errechnet. Das Signifikanzniveau der Verschiebung von Alfa- zu Beta-Bewertungen zwischen Baseline-Untersuchung und Nachkontrolle in Prozent wurde über den Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test<sup>15</sup> bestimmt.

**Table 3** Modified USPHS rating of restorations at baseline and up to 12 years of clinical service. Charlie and Delta ratings were not observed for criteria 'anatomic form', 'surface texture', and 'color match'

**Tab. 3** Modifizierte USPHS-Bewertung von Restaurationen bei Studienbeginn und nach bis zu 12 Jahren Funktionszeit. Charlie- und Delta-Bewertungen wurden für die Kriterien „anatomische Form“, „Oberflächentextur“ und „Farbübereinstimmung“ nicht verteilt.

Modified USPHS/ Modifizierte USPHS	Criteria /Bewertung	Molars/ Molaren n = 39		Premolars/ Prämolaren n = 22		Shoulder crowns/ Schulterkronen n = 36		Endocrowns/ Endokronen n = 25	
		Baseline	Up to 12 years/ nach bis zu 12 Jahren	Baseline	Up to 12 years/ nach bis zu 12 Jahren	Baseline	Up to 12 years/ nach bis zu 12 Jahren	Baseline	Up to 12 years/ nach bis zu 12 Jahren
Margin/Rand	Alfa	23	13	15	7	22	12	16	9
	Bravo	16	23	7	13	14	22	19	13
	Delta	0	3	0	2	0	2	0	3
Anatomic form/ Anatomische Form	Alfa	20	22	19	19	22	21	17	17
	Bravo	19	17	3	3	14	15	8	8
Surface texture/ Oberflächentextur	Alfa	15	6	14	5	18	6	11	4
	Bravo	24	33	8	17	18	30	14	21
Color match/ Farbübereinstimmung	Alfa	11	6	10	8	14	10	10	9
	Bravo	28	33	12	14	22	26	15	16

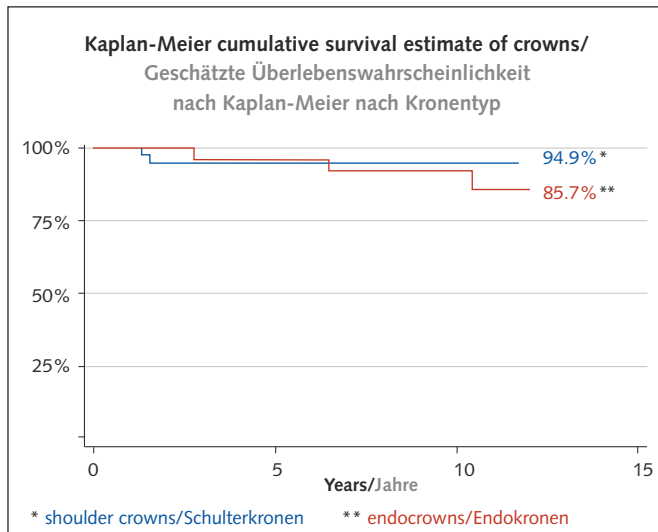
## Ergebnisse

Von den 55 Patienten, bei denen ursprünglich 65 Cerec-Schulter- und Endokronen eingesetzt worden waren, erschienen 52 Patienten (95 %) mit 61 Kronen (94 %) zur Nachkontrolle nach einer mittleren Funktionszeit von 9 Jahren und 8 Monaten (Spanne: 9 Jahre und 1 Monat bis 12 Jahre und 2 Monate). Dem Fragebogen zufolge waren alle Patienten zufrieden oder sehr zufrieden mit ihren CAD/CAM-Kronen. Von Beschwerden nach der Behandlung wurde nicht berichtet. Unterschiede in den klinischen parodontalen Parametern (Taschentiefe, Sulkus-Blutungs-Index, Plaque-Index) wurden nicht beobachtet. Auch die Vitalität der restaurierten Zähne hatte sich nicht verändert und es wurden weder Kariesrezidive noch neue Kariesläsionen an den überkronen Zähnen entdeckt.

Von den 61 Restaurationen erhielten in der Nachkontrolle zwei Schulterkronen und drei Endokronen bei vier

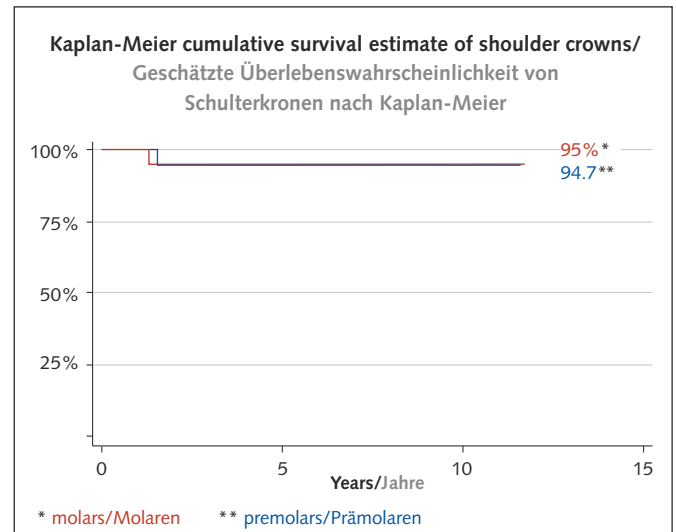
fied with their CAD/CAM crowns. Post-treatment discomfort was not reported. No differences in the clinical periodontal parameters (probing pocket depth, sulcus bleeding index, plaque index) were seen. Also, the vitality of the restored teeth did not change, and recurrent as well as new carious lesions could not be detected at the crowned teeth.

Of the 61 restorations in the follow-up examination, two shoulder crowns and three endocrowns in four patients were allocated a Charlie or Delta rating, which qualified them as failures (Table 3). The failures occurred after a functional period of between 1 year and 3 months, and 9 years and 9 months. One patient suffered two failures, while three patients presented one failure each. Based on the Kaplan-Meier analysis for all restorations combined, the survival estimate dropped to 90.3% after 12 years. Two (5.5%) of the 36 shoulder crowns (survival estimate 94.9%), and three (11.5%) of the 25 endocrowns (survival estimate 85.7%) were rated as failures (Fig 2). In an univariate analysis that used the proportional



**Fig 2** Kaplan-Meier cumulative survival estimate of shoulder crowns (94.9%) and endocrowns (85.7%) after a service time of up to 12 years. The difference was statistically not significant ( $P > 0.05$ ).

**Abb. 2** Kumulative geschätzte Überlebenswahrscheinlichkeit von Schulterkronen (94,9 %) und Endokronen (85,7 %) gemäß Kaplan-Meier-Analyse nach einer Funktionszeit von bis zu 12 Jahren. Die Differenz war statistisch nicht signifikant ( $p > 0,05$ ).



**Fig 3** Kaplan-Meier cumulative estimate of premolar (94.7%) and molar (95%) shoulder crowns after a service time of up to 12 years.

**Abb. 3** Kumulative geschätzte Überlebenswahrscheinlichkeit von Schulterkronen auf Prämolaren (94,7 %) und Molaren (95 %) nach Kaplan-Meier-Analyse nach einer Funktionszeit von bis zu 12 Jahren.

hazards model, the difference did not reach statistical significance ( $P > 0.05$ ).

With regard to the type of reconstruction, premolar shoulder crowns (survival estimate 94.7%) presented an almost identical risk as molar shoulder crowns (survival estimate 95%) (Fig 3). The survival estimate of premolar endocrowns dropped to 75%, while that of molar endocrowns achieved 90.5% (Fig 4). However, because of the low numbers of endocrowns placed on premolars, the difference did not reach statistical significance ( $P > 0.05$ ). Likewise, the even larger difference between the survival estimate of premolar shoulder crowns (94.7%) and premolar endocrowns (75%) did not show statistical significance (Fig 5). Furthermore, no significant difference in risk failure was seen with regard to jaw (maxilla/mandible) or gender (female/male).

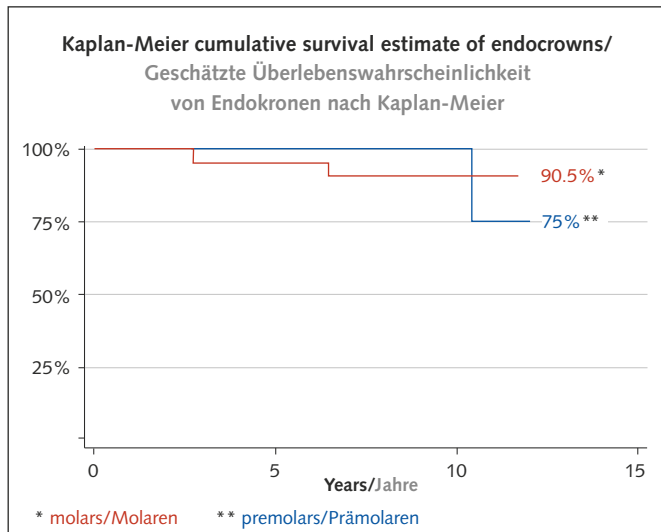
In two cases, the reason for failure was loss of retention of endocrowns. One endocrown suffered a bulk fracture. One shoulder crown had a chip fracture of a cusp, and one shoulder crown faced a complete mesiodistal ceramic fracture. New endocrowns were inserted for the two debonded molar endocrowns, while new zirconia crowns were placed

Patienten die Bewertung „Charlie“ oder „Delta“, was einem Versagen der Kronen entsprach (Tab. 3). Das Versagen trat nach einer Funktionszeit von zwischen einem Jahr und 3 Monaten und 9 Jahren und 9 Monaten auf. Bei einem Patienten hatten zwei Kronen versagt, bei drei Patienten jeweils eine.

Nach der Kaplan-Meier-Analyse für alle Restaurationen zusammen, fiel die geschätzte Überlebenswahrscheinlichkeit nach 12 Jahren auf 90,3 %. Zwei (5,5 %) der 36 Schulterkronen (geschätzte Überlebenswahrscheinlichkeit 94,9 %) und drei (11,5 %) der 25 Endokronen (geschätzte Überlebenswahrscheinlichkeit 85,7 %) wurden als Versagensfälle bewertet (Abb. 2). In einer univariaten Analyse nach dem Cox-Regressionsmodell erreichte der Unterschied keine statistische Signifikanz ( $p > 0,05$ ).

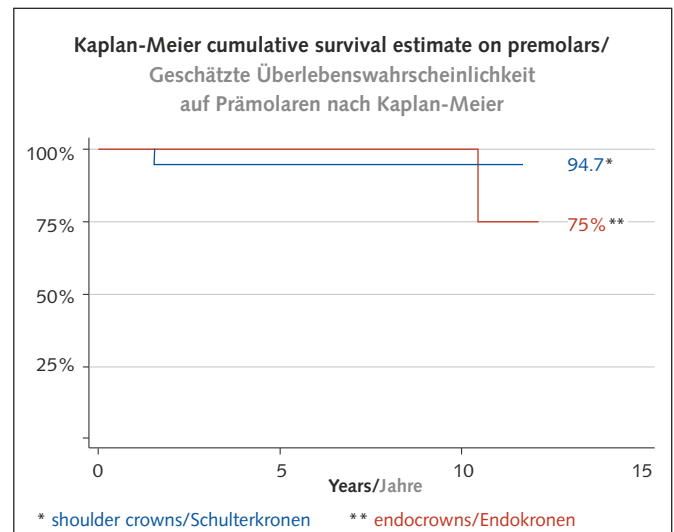
Im Hinblick auf die Art der Rekonstruktion war das Risiko bei Prämolarenschulterkronen (geschätzte Überlebenswahrscheinlichkeit 94,7 %) fast identisch mit dem bei Molarschulterkronen (geschätzte Überlebenswahrscheinlichkeit 95 %) (Abb. 3). Die geschätzte Überlebenswahrscheinlichkeit für Prämolarenschulterkronen fiel auf 75 %, während die





**Fig 4** Kaplan-Meier cumulative survival estimate of endocrowns on molars (90.5%) and premolars (75%) after a service time of up to 12 years. The difference did not reach statistical significance.

**Abb. 4** Kumulative geschätzte Überlebenswahrscheinlichkeit von Endokronen auf Molaren (90,5 %) und Prämolaren (75 %) nach Kaplan-Meier nach einer Funktionszeit von bis zu 12 Jahren. Die Differenz erreichte keine statistische Signifikanz.



**Fig 5** Kaplan-Meier cumulative survival estimate of shoulder crowns (94.7%) and endocrowns (75%) on premolars after a service time of up to 12 years. The difference did not reach statistical significance ( $P = 0.596$ ) due to low numbers of endocrowns on premolars.

**Abb. 5** Kumulative geschätzte Überlebenswahrscheinlichkeit von Schulterkronen (94,7 %) und Endokronen (75 %) auf Prämolaren gemäß Kaplan-Meier-Analyse nach einer Funktionszeit von bis zu 12 Jahren. Die Differenz erreichte aufgrund der geringen Anzahl von Endokronen auf Prämolaren keine statistische Signifikanz ( $p = 0,596$ ).

geschätzte Überlebenswahrscheinlichkeit für Molarenendokronen 90,5 % erreichte (Abb. 4). Aufgrund der geringen Anzahl an Endokronen auf Prämolaren erreichte die Differenz jedoch keine statistische Signifikanz ( $p > 0,05$ ). Ebenso wies die noch größere Differenz zwischen der geschätzten Überlebenswahrscheinlichkeit bei Prämolarenschulterkronen (94,5 %) und bei Prämolarenendokronen (75 %) keine statistische Signifikanz auf (Abb. 5). Weiterhin konnte beim Versagensrisiko kein signifikanter Unterschied im Hinblick auf den Kiefer (Ober-/Unterkiefer) oder das Geschlecht (weiblich/männlich) festgestellt werden.

In zwei Fällen bestand der Grund für das Versagen in einem Retentionsverlust der Endokrone. Bei einer Endokrone kam es zu einer kompletten Fraktur. Eine Schulterkrone wies eine Abplatzung an einem Höcker auf und an einer Schulterkrone zeigte sich eine komplette mesiodistale Keramikfraktur. Nach dem Debonding der Molarenendokronen wurden neue Endokronen eingesetzt und die frakturierten Kronen durch neue Zirkonoxidkronen ersetzt. Die Restauration mit der Abplatzung wurde mit einem Komposit repariert (Tab. 4).

for the bulk-fractured crowns. The chip-fractured restoration was repaired with composite (Table 4). From the 56 shoulder crowns and endocrowns with clinically satisfactory ratings, those with a Bravo rating of the margins increased from 38% to 61% ( $P < 0.001$ ) at follow-up. The share of the Bravo-rated crowns with respect to anatomic form remained at 38%. Bravo-rated surface texture of the crowns increased from 49% to 79% ( $P < 0.001$ ). Color characteristics did not change significantly ( $P > 0.05$ ) from the initial 68% to 72% at follow-up (Table 5).

## Discussion

The fact that the production, placement, and quality assessment of the restorations were all done by the same person may have caused a certain personal bias in the present study. Nevertheless, this systematic, long-term observation may provide useful information for the CAD/CAM user. The low dropout rate of 6% after up to 12 years and the clear definition of success and failure certainly permit an

**Table 4** Failure analysis of the three failed endocrowns and the two failed shoulder crowns and repair management

**Tab. 4** Versagensanalyse der drei ausgefallenen Endokronen und der beiden ausgefallenen Schulterkronen sowie Reparaturmaßnahmen.

Failure analysis and repair/Versagensanalyse und Reparatur			
Crown type/tooth no. (FDI)/Kronentyp/Zahnnummer (FDI)	Duration of clinical service/Funktionszeit	Cause of failure/Grund des Versagens	Failure management/Reparaturmaßnahmen
No. 1 Shoulder 46/ Nr. 1 Schulter 46	1 year and 3 months/ 1 Jahr, 3 Monate	Ceramic fracture (cusp)/ Keramikfraktur (Höcker)	Repair with direct composite/ Reparatur mit Direktkomposit
No. 2 Shoulder 44/ Nr. 2 Schulter 44	1 year and 6 months/ 1 Jahr, 6 Monate	Ceramic fracture (mesiodistal)/ Keramikfraktur (mesiodistal)	New zirconia crown/ neue Zirkonoxidkrone
No. 3 Endo 26/ Nr. 3 Endo 26	2 years and 9 months/ 2 Jahre, 9 Monate	Loss of retention (debonding)/ Retentionsverlust (Debonding)	New feldspathic Cerec endocrown/ neue Cerec-Endokrone, Feldspatkeramik
No. 4 Endo 27/ Nr. 4 Endo 27	6 years and 7 months/ 6 Jahre, 7 Monate	Ceramic fracture (bulk fracture)/ Keramikfraktur (komplette Restaurationsfraktur)	New zirconia crown/ neue Zirkonoxidkrone
No. 5 Endo 35/ Nr. 5 Endo 35	9 years and 9 months/ 9 Jahre, 9 Monate	Loss of retention (debonding)/ Retentionsverlust (Debonding)	New feldspathic Cerec endocrown/ neue Cerec-Endokrone, Feldspatkeramik

**Table 5** Shift in percentage of ratings per criteria of the successful restorations between baseline and follow-up

**Tab. 5** Prozentuale Verschiebung der Bewertungen nach Kriterien der erfolgreichen Restaurationen zwischen Baseline-Untersuchung und Nachkontrolle. Signifikante Verschiebungen wurden bei den Zementierungsrändern ( $p < 0,001$ ) und bei der Oberflächentextur der Kronen ( $p < 0,001$ ) festgestellt.

Percentage shift of ratings between baseline and follow-up examination/ Prozentuale Verschiebungen der Bewertungen zwischen Baseline-Untersuchung und Nachkontrolle				
USPHS criteria/ USPHS-Kriterien	Rating/ Bewertung	Baseline/ Baseline	Up to 12 years/ nach bis zu 12 Jahren	Statistical significance*/ statistische Signifikanz*
Margins/ Ränder	Alfa	62 %	39 %	$P < 0.001/p < 0,001$
	Bravo	38 %	61 %	
Anatomic form/ Anatomische Form	Alfa	62 %	62 %	$P = 1/p = 1$
	Bravo	38 %	38 %	
Surface texture/ Oberflächentextur	Alfa	51 %	21 %	$P < 0.001/p < 0,001$
	Bravo	49 %	79 %	
Color match/ Farbübereinstimmung	Alfa	32 %	28 %	$P = 0.157/p = 0,157$
	Bravo	68 %	72 %	

\*Wilcoxon signed-rank test  
\*Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test

Unter den 56 Schulter- und Endokronen mit klinisch zufriedenstellender Bewertung stieg die Bravo-Bewertung der Präparationsränder in der Nachkontrolle von 38 % auf 61 % ( $p < 0,001$ ). Der Anteil der Kronen mit Bravo-Bewertung im Hinblick auf die anatomische Form blieb bei 38 %. Die Anzahl der Bravo-Bewertungen der Oberflächentextur der Kronen stieg von 49 % auf 79 % ( $p < 0,001$ ). Die Farbmerkmale änderten sich nicht signifikant ( $p > 0,05$ ) von anfangs 68 % auf 72 % bei der Nachkontrolle (Tab. 5).

## Diskussion

Der Umstand, dass Herstellung, Einsetzen und Qualitätsbeurteilung der Restaurationen durch dieselbe Person erfolgten, könnte in der vorliegenden Studie zu einer gewissen subjektiven Voreingenommenheit geführt haben. Dennoch könnte diese systematische Langzeitbeobachtung dem CAD/CAM-Anwender nützliche Informationen liefern. Die geringe Ausfallquote von 6 % nach bis zu 12 Jahren und die klare Definition von Erfolg und Versagen erlauben sicherlich eine angemessene klinische langfristige Bewertung der verwendeten Restaurationsarten.

Die kombinierte geschätzte Überlebenswahrscheinlichkeit der Schulter- und Endokronen von 90,3 % nach bis zu 12 Jahren lässt sich als sehr akzeptables Ergebnis in einer zahnärztlichen Praxis betrachten. Die hohe Akzeptanz von Behandlungsmodalitäten und Ergebnis, die sich in der Patientenbefragung abzeichnete, bestätigt diese positive Einschätzung. Die große geschätzte Überlebenswahrscheinlichkeit sowie die zahlreichen Alfa- und Bravo-Bewertungen für Randqualität, anatomische Form, Oberflächentextur und Farbübereinstimmung untermauern insgesamt die positiven klinischen Eigenschaften, die mit den im Cerec-3-Verfahren hergestellten CAD/CAM-Kronen aus monolithischer Feldspatkeramik im Hinblick auf Passgenauigkeit<sup>16</sup>, Bruchfestigkeit<sup>17–19</sup>, adhäsive Befestigung<sup>20</sup> und Beständigkeit des keramischen Materials<sup>21</sup> erreicht werden, wie beispielsweise in Abb. 6a und 6b deutlich wird.

Im Vergleich von Schulterkronen auf Molaren und auf Prämolaren mit Endokronen zeigten die geschätzten Überlebenswahrscheinlichkeiten keine statistisch signifikanten Unterschiede ( $p > 0,05$ ), was unsere Hypothese bestätigt (Abb. 2 und 5). Bindl et al.<sup>22</sup> berichteten von ähnlich hohen geschätzten Überlebenswahrscheinlichkeiten für Schulter- und Endokronen nach 5 Jahren. Jedoch zeigten die Prämolarenendokronen mit 68,8 % ein signifikant ( $p < 0,01$ ) geringeres Überleben im Vergleich zu klassischen Kronen (97 %).



**Figs 6a and b** Endocrown on a molar at baseline (a). Endocrown on a molar at follow-up after 10 years and 8 months with no shift in USPHS ratings (b).

**Abb. 6a und b** Endokrone auf einem Molar bei Studienbeginn (a), Endokrone auf einem Molar bei der Nachkontrolle nach 10 Jahren und 8 Monaten ohne Verschiebung der USPHS-Bewertungen (b).

adequate clinical, long-term assessment of the restoration types employed.

The survival estimate of the shoulder crowns and endocrowns combined, of 90.3% after up to 12 years, can be regarded as a very acceptable outcome in a private dental practice. The high acceptance of the treatment modalities and outcome as shown by the patient opinion survey confirms this positive appraisal. The high survival estimate, as well as the high Alfa and Bravo ratings for margin quality, anatomic form, surface texture, and color match generally confirm the beneficial clinical characteristics achieved with the Cerec 3-generated monolithic feldspathic ceramic CAD/CAM crowns with regard to accuracy of fit,<sup>16</sup> fracture resistance,<sup>17–19</sup> adhesive bonding,<sup>20</sup> and durability of the ceramic material,<sup>21</sup> as represented, for example, by Figures 6a and 6b.

The survival estimates showed no statistically significant differences ( $P > 0.05$ ) between molar and premolar shoul-

der crowns compared to endocrowns, thus confirming our hypothesis (Figs 2 and 5). Bindl et al<sup>22</sup> reported similar high survival estimates for shoulder crowns and endocrowns after 5 years. Yet, for premolars, they reported a significantly ( $P < 0.01$ ) lower survival of endocrowns (68.8%) compared to classical crowns (97%). When this high risk for failure of premolar endocrowns emerged during the baseline period (2001 to 2004) of the present study, indication for premolar endocrowns was stopped. Consequently, the statistics on premolar endocrowns was based only on the small number of five test patients. As a result, the survival estimate of the premolar endocrowns was not significantly different ( $P > 0.05$ ) from that of the premolar shoulder crowns, thus confirming our hypothesis for premolars. Nevertheless, the 20% risk of failure for endocrowns on premolars is in agreement with the 5-year clinical study of Bindl and coworkers.<sup>22</sup> On the other hand, finite element and Weibull analyses of the premolar endocrown support our hypothesis.<sup>23</sup> Using a maxillary premolar endo preparation with 5 mm depth of the pulpal chamber retention cavity, the authors conclude that "the endocrown can be considered as a conservative, aesthetic, and clinically feasible restorative approach for endodontically treated maxillary premolars".<sup>23</sup> This indicates that in the mathematical model as well as in the clinical situation the depth of the pulpal cavity retention part of the endocrown plays a significant role in its survival.

The debonding of two molar endocrowns can be explained by the insufficient stabilization through the pulpal chamber retentive part. In these two cases, substantial loss of tooth substance restricted the height of its circular walls to less than 2 mm. However, the depth of the cavity should be at least 3 mm.<sup>24</sup> A laboratory study showed that the fracture strength of molar endocrowns under oblique loading yielded higher resistance than glass fiber post-retained conventional crowns, the wall height of the pulpal chamber cavity being between 5 and 3.7 mm.<sup>25</sup>

The alternative of a post and core buildup on non-vital teeth has been critically reviewed repeatedly in the literature.<sup>26,27</sup> Due to the risk of root fractures, the direct bonding of all-ceramic restorations to the residual tooth structure of non-vital teeth appears as an advantage.<sup>28</sup> But in teeth with almost no coronal tooth substance left, a post and core buildup with resin-based composite, which has physical properties close to those of dentin, could be more favorable.<sup>29,30</sup>

One possible reason for the debonding of the endocrowns, even if rare in our study, could be that the high

Als dieses hohe Versagensrisiko von Prämolarenendokronen während der Baseline-Periode (2001 bis 2004) der vorliegenden Studie zutage trat, wurde die Indikation für Endokronen auf Prämolaren aufgehoben. Aus diesem Grund erfolgen die statistischen Angaben zu den Prämolarenendokronen nur auf der geringen Anzahl von fünf Probanden. Im Ergebnis unterschied sich die geschätzte Überlebenswahrscheinlichkeit der Prämolarenendokronen nicht signifikant ( $p > 0,05$ ) von der geschätzten Überlebenswahrscheinlichkeit der Prämolarenschulterkronen, was unsere Hypothese hinsichtlich der Prämolaren untermauert. Dennoch entspricht das 20%ige Versagensrisiko für Endokronen auf Prämolaren den Ergebnissen der 5-jährigen klinischen Studie von Bindl und Kollegen<sup>22</sup>. Analysiert man die Prämolarenendokrone dagegen mittels der Finite-Elemente-Analyse und Weibull-Analyse, bestätigt sich unsere Hypothese<sup>23</sup>. Die Autoren verwenden an einem Prämolaren im Oberkiefer eine Endopräparation mit einer 5 mm tiefen Retentionskavität in der Pulpakammer und kommen zu dem Schluss, dass „die Endokrone als konservativer, ästhetischer und klinisch sinnvoller restaurativer Ansatz für endodontisch behandelte Prämolaren im Oberkiefer betrachtet“<sup>23</sup> werden kann. Dies deutet darauf hin, dass sowohl im mathematischen Modell als auch in der klinischen Situation die Tiefe der Retentionskavität für die Endokrone in der Pulpakammer eine wichtige Rolle für das Überleben spielt.

Bei zwei Molarenendokronen lässt sich das Debonding mit einer unzureichenden Stabilisierung durch den Retentionsteil der Pulpakammer erklären. In diesen beiden Fällen beschränkte ein bedeutender Verlust der Zahnhartsubstanz die Höhe der zirkulären Wände auf weniger als 2 mm. Die Tiefe der Kavität sollte jedoch mindestens 3 mm betragen<sup>24</sup>. Eine Laborstudie zeigte, dass die Bruchfestigkeit von Molarenendokronen unter schräger Belastung höher war als bei konventionellen Kronen mit Glasfaserstift, wobei die Wandhöhe der Pulpakammerkavität zwischen 5 und 3,7 mm lag<sup>25</sup>. Der Stiftaufbau auf nicht vitalen Zähnen als Alternative wurde in der Literatur wiederholt kritisch analysiert<sup>26,27</sup>. Wegen des Risikos von Wurzelfrakturen scheint das direkte Bonding von Vollkeramikrestorationen auf die verbliebenen Zahnstrukturen nicht vitaler Zähne einen Vorteil darzustellen<sup>28</sup>. Ist jedoch kaum noch Zahnkronensubstanz vorhanden, könnte sich ein Stiftaufbau mit einem kunststoffbasierten Komposit, das ähnliche Eigenschaften aufweist wie Dentin, als günstiger erweisen<sup>29,30</sup>.

Ein möglicher Grund für das selten aufgetretene Debonding der Endokronen in unserer Studie könnte darin bestehen, dass der hohe Elastizitätsmodul der Keramik Kaubelas-

tungen ungedämpft auf die Schnittstelle zwischen Befestigungszement und Dentin überträgt, was dort zu Spannungen führt. In unserer Studie haftete der Befestigungszement stets an der Keramik der gelösten Endkronen, was darauf hindeutet, dass die Zement-Dentin-Schnittstelle die Schwachstelle ist. Fräsbares Komposit, dessen Elastizitätsmodul dem von Dentin nahekommt, könnte daher bei CAD/CAM-Endkronen eine wertvolle Alternative zur Keramik darstellen<sup>31</sup>.

Die geschätzte Überlebenswahrscheinlichkeit nach bis zu 12 Jahren (94,9 %) für die Schulterkronen aus monolithischer Feldspatkeramik in dieser Studie lag bei ähnlichen Werten wie die für Kronen aus anderen Keramiken wie leuzitverstärkter Glaskeramik (92 % nach 4 Jahren)<sup>32</sup> und In-Ceram (96 % nach 3 Jahren)<sup>33</sup> nach kürzeren Zeiträumen. Für Lithium-Disilikat-Kronen wurden Überlebenswahrscheinlichkeiten von 95,5 % nach 10 Jahren<sup>34</sup> bzw. 94,8 % nach bis zu 9 Jahren<sup>35</sup> berichtet. Metall-Keramik-Kronen mit einer Überlebenswahrscheinlichkeit von 94,4 % nach bis zu 12 Jahren und 85,4 % nach bis zu 25 Jahren stellen hier bislang noch den Goldstandard dar<sup>36</sup>.

Die statistisch signifikante Zunahme von leicht sichtbaren Rändern von 38 % auf 61 % nach 10 Jahren lässt sich mit einem allgemeinen selbstlimitierenden Verlust von Bonding-Komposit im ersten Jahr nach dem Einsetzen erklären<sup>37</sup>. Offenbar führt dieser Umstand über einen langen Zeitraum weder zu Sekundärkaries noch zu Veränderungen an den parodontalen Parametern<sup>22</sup>. Die Kronen wurden ausschließlich mit flexiblen Polierscheiben und Polierbürsten von Hand poliert, da Diamant-Polierpasten für die intraorale Anwendung noch nicht auf dem Markt waren. Der Prozentsatz von glänzenden Oberflächen fiel von ursprünglich 51 % auf 21 %. Dies hatte keine klinischen Auswirkungen in der Seitenzahnregion. Die Verwendung von Diamant-Polierpaste oder sogar eines Glasurverfahrens, vor allem im Bereich der Vorderzähne, zur Verbesserung des Langzeitergebnisses, sollte jedoch in Erwägung gezogen werden.

Es muss bedacht werden, dass die Ergebnisse dieser Studie nur die klinische Leistung eines einzelnen Klinikers repräsentieren. Der rasche Fortschritt bei der Software und Hardware des Cerec-Systems vereinfacht das klinische Protokoll für Kliniker jedoch dergestalt, dass sie chairside Keramikronen mit sehr großer Passgenauigkeit und einer guten funktionalen Okklusion herstellen können<sup>38</sup>. Es ist nun möglich, aus einer Vielzahl verschiedener Materialien für spezifische Indikationen auszuwählen, was möglicherweise den Weg für noch bessere Langzeitergebnisse ebnet<sup>39</sup>.

modulus of elasticity of the ceramic might transfer chewing loads uncushioned to the interface between luting cement and dentin, causing stress at this interface. Actually, in our study the luting agent always adhered to the ceramic of the debonded endocrowns, showing that the luting agent/dentin interface was the weak part. Hence, machinable composite with a modulus of elasticity close to that of dentin might present a valuable alternative to ceramics for CAD/CAM endocrowns.<sup>31</sup>

The up to 12 years survival estimate (94.9%) of the monolithic feldspathic ceramic shoulder crowns in the present study was similar to crowns made from other ceramics, such as leucite-reinforced glass ceramic (92% after 4 years)<sup>32</sup> and In-Ceram (96% after 3 years)<sup>33</sup> after shorter time periods. For lithium disilicate crowns, survival rates of 95.5% after 10 years<sup>34</sup> and 94.8% after up to 9 years<sup>35</sup> have been reported. Metal-ceramic crowns with a survival rate of 94.4% up to 12 years and 85.4% up to 25 years so far still represent the gold standard.<sup>36</sup>

The statistically significant increase of slightly detectable margins from 38% to 61% after 10 years could be explained by the general self-limiting loss of bonding composite during the first year after placement.<sup>37</sup> It seems that this circumstance does not lead to secondary caries or changes in the periodontal parameters in the long term.<sup>22</sup> The crowns were polished by hand, with flexible discs and brushes only, because diamond polishing pastes approved for intraoral use were not yet on the market. The percentage of glossy surfaces dropped from an initial 51% to 21%. This had no clinical consequences in the posterior region. However, the use of a diamond polishing paste or even a glazing procedure to enhance the long-term result, especially for anterior teeth, should be taken into account.

It should be borne in mind that the results of this study only represent the clinical performance of a single clinician. Yet, the rapid progression of the Cerec software and hardware makes the clinical protocol very easy for clinicians to create chairside ceramic crowns with a very accurate fit and a good functional occlusion.<sup>38</sup> It has also become possible to choose from a variety of different materials for specific indications, which might pave the way for even better long-term results.<sup>39</sup>

## Conclusions

1. Cerec shoulder crowns and endocrowns can be designed and custom-machined at chairside, ready to be adhesively placed during the same single appointment.
2. The survival estimate up to 12 years of 94.9% for Cerec shoulder crowns on molars and premolars, as well as for molar endocrowns of 90.5%, proved to be a very acceptable outcome for private practice.
3. The survival estimate up to 12 years of 75% for premolar Cerec endocrowns tended to show a higher risk compared to premolar shoulder crowns.

## Acknowledgment

The authors would like to thank PD Dr. med. Brian Martin, Aarau, for his kind assistance with the statistical analysis of the results.

## References

1. Reich S, Vollborn T, Mehl A, Zimmermann M. Intraoral optical impression systems – an overview. *Int J Comput Dent* 2013;16:143–162.
2. Mörmann WH. The evolution of the Cerec system. *J Am Dent Assoc* 2006;137(Suppl):75–135.
3. Posselt A, Kerschbaum T. Longevity of 2328 chairside Cerec inlays and onlays. *Int J Comput Dent* 2003;6:231–248.
4. Reiss B. Clinical results of Cerec inlays in a dental practice over a period of 18 years. *Int J Comput Dent* 2006;9:11–22.
5. Otto T, Schneider D. Long-term clinical results of chairside Cerec CAD/CAM inlays and onlays: a case series. *Int J Prosthodont* 2008;21:53–59.
6. Otto T. Computer-aided direct all-ceramic crowns: preliminary 1-year results of a prospective clinical study. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2004;24:446–455.
7. Mörmann WH, Bindl A, Lüthy H, Rathke A. Effects of preparation and luting system on all-ceramic computer-generated crowns. *Int J Prosthodont* 1998;11:333–339.
8. Pissis P. Fabrication of a metal-free ceramic restoration utilizing the monobloc technique. *Pract Periodontics Aesthet Dent* 1995;7:83–94.
9. Mörmann WH, Bindl A. The bonding area of intra- and extra-coronal tooth preparations. *Am J Dent* 2006;19:201–205.
10. Mühlemann HR, Son S. Gingival sulcus bleeding – a leading symptom in initial gingivitis. *Helv Odont Acta* 1971;15:107–113.
11. Silness J, Løe H. Periodontal disease in pregnancy. II. Correlation between oral hygiene and periodontal condition. *Acta Odont Scand* 1964;22:121–135.
12. Leinfelder KF, Lemons JE. *Clinical restorative materials and techniques*. Philadelphia: Lea & Febiger, 1988:201–221.
13. Kaplan EL, Meier P. Nonparametric estimation from incomplete observation. *J Am Stat Assoc* 1958;53:457–481.
14. Selvin S. *Statistical analysis of epidemiologic data*. In: Kelsey JL, Marmot MG, Stolley PD, Vessey MP (eds). *Monographs in Epidemiology and Biostatistics*. New York: Oxford Press, 1996:391–423.
15. Forrester JC, Ury HK. The Signed-Rank (Wilcoxon) test in rapid analysis of biological data. *Lancet* 1969;1:239–241.
16. Windisch S, Bindl A, Mörmann WH. Passgenauigkeit von vollkeramischen Cerec-CAD/CIM-Frontzahnkronen und Frontzahnkronenkappen. *Acta Med Dent Helv* 1999;4:29–37.
17. Lampe K, Lüthy H, Mörmann WH, Lutz F. Bruchlast vollkeramischer Computerkronen. *Acta Med Dent Helv* 1997;2:28–35.
18. Wolf D, Bindl A, Schmidlin PR, Lüthy H, Mörmann WH. Strength of CAD/CAM-generated esthetic ceramic molar implant crowns. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2008;23:609–617.
19. Hasan I, Frentzen M, Utz KH, Hoyer D, Langenbach A, Bourauel C. Finite element analysis of adhesive endo-crowns of molars at different

## Schlussfolgerungen

1. Cerec-Schulter- und Endokronen können innerhalb derselben Sitzung in der Praxis entworfen, individuell formgeschliffen und befestigt werden.
2. Die geschätzte Überlebenswahrscheinlichkeit nach bis zu 12 Jahren von 94,9 % für Cerec-Schulterkronen auf Molaren und Prämolaren sowie die geschätzte Überlebenswahrscheinlichkeit für Molarenendokronen (90,5 %) erwies sich als in hohem Maße akzeptables Ergebnis im Kontext der Zahnarztpraxis.
3. Die geschätzte Überlebenswahrscheinlichkeit nach bis zu 12 Jahren von 75 % für Cerec-Endokronen auf Prämolaren zeigte ein tendenziell höheres Versagensrisiko im Vergleich zu Prämolarenschulterkronen.

## Danksagung

Die Autoren bedanken sich bei PD Dr. med. Brian Martin, Aarau, für die freundliche Unterstützung bei der statistischen Analyse der Ergebnisse.

- height levels of buccally applied load. *J Dent Biomech* 2012;3: doi:10.1177/1758736012455421.
20. Mörmann W, Wolf D, Ender A, Bindl A, Göhring T, Attin T. Effect of two self-adhesive cements on marginal adaptation and strength of esthetic ceramic CAD/CAM molar crowns. *J Prosthodont* 2009;18: 403–410.
  21. Mörmann W, Stawarczyk B, Ender A, Sener B, Attin T, Mehl A. Wear characteristics of current aesthetic dental restorative CAD/CAM materials: two-body wear, gloss retention, roughness and Martens hardness. *J Mech Behav Biomed Mater* 2013;20:113–125.
  22. Bindl A, Richter B, Mörmann WH. Survival of ceramic computer-aided design/manufacturing crowns bonded to preparations with reduced macroretention geometry. *Int J Prosthodont* 2005;18:219–224.
  23. Lin CL, Chang YH, Chang CY, Pai CA, Huang SF. Finite element and Weibull analyses to estimate failure risks in the ceramic endocrown and classical crown for endodontically treated maxillary premolar. *Eur J Oral Sci* 2010;118:87–93.
  24. Fages M, Bennisar B. The endocrown: a different type of all-ceramic reconstruction for molars. *J Can Dent Assoc* 2013;79:d140.
  25. Biacchi GR, Basting RT. Comparison of fracture strength of endocrowns and glass fiber post-retained conventional crowns. *Oper Dent* 2012;37:130–136.
  26. Heydecke G, Peters MC. The restoration of endodontically treated, single-rooted teeth with cast or direct posts and cores: a systematic review. *J Prosthet Dent* 2002;87:380–386.
  27. Soares CJ, Valdivia AD, da Silva GR, Santana FR, Menezes Mde S. Longitudinal clinical evaluation of post systems: a literature review. *Braz Dent J* 2012;23:135–140.
  28. Krejci I, Duc O, Dietschi D, de Campos E. Marginal adaptation, retention and fracture resistance of adhesive composite restorations on devital teeth with and without posts. *Oper Dent* 2003;28:127–135.
  29. Dietschi D, Duc O, Krejci I, Sadan A. Biomechanical considerations for the restoration of endodontically treated teeth: a systematic review of the literature – Part 1. Composition and micro- and macrostructure alterations. *Quintessence Int* 2007;38:733–743.
  30. Dietschi D, Duc O, Krejci I, Sadan A. Biomechanical considerations for the restoration of endodontically treated teeth: a systematic review of the literature – Part II. (Evaluation of fatigue behavior, interfaces and in vivo studies). *Quintessence Int* 2008;39:117–129.
  31. Ramirez-Sebastià A, Bortolotto T, Roig M, Krejci I. Composite vs ceramic computer-aided design/computer-assisted manufacturing crowns in endodontically treated teeth: analysis of marginal adaptation. *Oper Dent* 2013;38:663–673.
  32. 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.
  33. McLaren EA, White SN. Survival of In-Ceram crowns in a private practice: a prospective clinical trial. *J Prosthet Dent* 2000;83:216–222.
  34. Valenti M, Valenti A. Retrospective survival analysis of 261 lithium disilicate crowns in a private general practice. *Quintessence Int* 2009;40:573–579.
  35. 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 Investig* 2013;17:275–284.
  36. Walton TR. The up to 25-year survival and clinical performance of 2,340 high gold-based metal-ceramic single crowns. *Int J Prosthodont* 2013;26:151–160.
  37. Isenberg BP, Essig ME, Leinfelder KF, Mueninghoff LA. Clinical evaluations of marginal integrity: two year results. In: Mörmann W (ed). *International Symposium on Computer Restorations*. Chicago: Quintessence, 1991:163–172.
  38. Mehl A, Blanz V. New procedure for fully automatic occlusal surface reconstruction by means of a biogeneric tooth model. *Int J Comput Dent* 2005;8:13–25.
  39. Zimmermann M, Mehl A, Reich S. New CAD/CAM materials and blocks for chairside procedures. *Int J Comput Dent* 2013;16:73–181.

## Address/Adresse

Dr. med. dent. Tobias Otto, Bahnhofstraße 10, 5000 Aarau, Schweiz  
Tel.: +41 (0) 62 824 67 24, Fax: +41 (0) 62 824 67 26  
E-Mail: praxis.otto@bluewin.ch