

# Syntac<sup>®</sup>



## Wissenschaftliche Dokumentation

# Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einführung</b>	<b>3</b>
1.1 Mechanismus der Adhäsion in der Zahnheilkunde	3
<b>2. Ein kurzer geschichtlicher Abriss der Adhäsive</b>	<b>5</b>
<b>3. Klassifizierung von Adhäsiven</b>	<b>6</b>
3.1 Klassifizierung nach Generation	6
3.2 Klassifizierung nach Mechanismus der Adhäsion / klinischen Schritten	8
<b>4. Adhäsive von Ivoclar Vivadent: Portfolio</b>	<b>8</b>
<b>5. Syntac</b>	<b>9</b>
5.1 Mechanismus von Syntac	10
5.2 Selective-Etch vs. Total-Etch	11
5.3 Trends in der Anwendung von Adhäsiven	12
<b>6. Technische Daten</b>	<b>13</b>
<b>7. In-vitro-Untersuchungen</b>	<b>14</b>
7.1 Syntac und Haftfestigkeit	14
7.2 Syntac und Randdichtigkeit	16
<b>8. Klinische Untersuchungen</b>	<b>18</b>
8.1 Externe kontrollierte klinische Studien	18
8.2 Interne kontrollierte klinische Studien	19
8.3 Literaturrecherche: Direkte Restaurationen mit Syntac	22
8.4 Literaturrecherche: Indirekte Restaurationen mit Syntac	25
8.5 Syntac und postoperative Sensibilität	28
8.6 Zusammenfassung	29
<b>9. Biokompatibilität</b>	<b>30</b>
9.1 Einführung	30
9.2 Akute Toxizität	30
9.3 Sensibilisierung und Irritation	31
9.4 Schlussfolgerung	31
<b>10. Literatur</b>	<b>32</b>

# 1. Einführung

Die adhäsive Zahnheilkunde hat in den letzten Jahrzehnten bemerkenswerte und andauernde Fortschritte erzielt und zweifelsohne die Revolution in der restaurativen Zahnheilkunde mitgetragen.<sup>1</sup>

Dentaladhäsive haben sich im Gleichschritt mit Dentalcomposites entwickelt. Compositematerialien waren erstmals in den 1960er Jahren erhältlich<sup>2</sup> und wurden anfänglich hauptsächlich im Frontzahnbereich angewandt, wo Amalgamfüllungen als unästhetisch betrachtet wurden. In den 1990er Jahren begannen sie Amalgam als Universalfüllungsmaterial zu ersetzen, und Compositorestaurationen läuteten das Zeitalter der minimalinvasiven Zahnheilkunde ein. Der retentive Aspekt der Amalgamfüllungen verlor seine Gültigkeit und die zu füllende Kavität musste nur so gross sein wie das zu entfernende demineralisierte Gewebe. Diese neue Entwicklung in der restaurativen Zahnheilkunde war nur durch die gleichzeitige Entwicklung von klinisch verlässlichen Schmelz-/Dentinadhäsiven möglich.

## 1.1 Mechanismus der Adhäsion in der Zahnheilkunde

Zwei grundsätzliche Arten von Adhäsion sind möglich:

**Mechanisch:** durch die Penetration des Adhäsivkunststoffs in die Zahnoberfläche, wo er Kunststofftags bildet.

**Chemisch:** durch einen chemischen Verbund mit dem anorganischen (Hydroxylapatit) oder den organischen Komponenten (Kollagen) der Zahnhartsubstanz.

Bei modernen Adhäsiven kommt meistens eine Kombination der beiden erwähnten Mechanismen zum Tragen.

### 1.1.1 Substrat

Adhäsivsysteme müssen einen Verbund mit der Restauration und der Zahnhartsubstanz herstellen. Composite-Restaurationen bestehen aus einer hydrophoben Matrix, in der verschiedene Füllstoffpartikel eingebettet sind. Zähne bestehen aus zwei sehr unterschiedlichen Substraten: Schmelz und Dentin. Schmelz besteht grundsätzlich aus 96 % Hydroxylapatit, kristallinem Kalziumphosphat und 4 % organischem Material und Wasser<sup>3</sup>, wohingegen Dentin aus 70 % Hydroxylapatit, 20 % Kollagen und 10 % Wasser besteht.<sup>4</sup> Schmelz ist also im Grunde genommen ein trockenes Substrat, während Dentin feucht ist. Adhäsive müssen deshalb sowohl hydrophobe als auch hydrophile Eigenschaften haben, um einen Verbund zu beiden Substraten herstellen zu können.

### 1.1.2 Schmierschicht

Die Schmierschicht ist eine präparationsbedingte Schicht, die ca. 1 µm dick ist und über dem präparierten Anteil des Zahnes nach der Bearbeitung liegt. Sie könnte eine schützende Funktion haben, da sie die Durchlässigkeit des Dentins herabsetzt; da sie jedoch teilweise in die Dentintubuli eindringt, kann sie einen wirkungsvollen Verbund gefährden.<sup>1</sup> Mit den frühen Compositematerialien wurde beobachtet, dass die Haftvermittler, die die Schmierschicht entfernten, in klinischen Versuchen bessere Retentionsraten erzielten als jene, die die Schmierschicht nur modifizierten.<sup>5,6</sup> Die Entfernung der Schmierschicht schien also eine Voraussetzung für die Adhäsion auf Dentin zu sein. Dieses Konzept bleibt bis heute weitgehend akzeptiert. In Studien wurde herausgefunden, dass bei Verbleiben der Schmierschicht nur eine Verbundkraft von 5 MPa erzielt werden konnte, bevor es zu einem kohäsiven Bruch innerhalb der Schmierschicht kam.<sup>7,8</sup>

Dies führte zur Schaffung der Gruppe der Haftvermittler, die als „Total-Etch“- und später „Etch-and-Rinse“-Adhäsive bekannt wurden.

**Ätzen des Schmelzes:** Buonocore (1955) war der erste, der die Säureätzttechnik auf Schmelz beschrieben hat. Die Ätzung vergrößert den Oberflächenbereich, da sie ein unregelmäßiges weisses Schmelzmuster hinterlässt (Abb. 1). Die Prismen des Schmelzes werden während der Präparation entweder quer oder vertikal geschnitten, wodurch während des Ätzens ein Mikrorentionsmuster entsteht, da die zentralen und peripheren Anteile der Prismen unterschiedliche Grade der Säurelöslichkeit aufweisen.<sup>10</sup> Eine auf Kunststoff basierende Flüssigkeit ist dann mit Hilfe der Kapillarwirkung in der Lage, in die geschaffenen Mikroporositäten einzudringen. Die Monomere polymerisieren und verzahnen sich in Form von Kunststofftags mit dem Schmelz. Damit ein optimales retentives Muster auf Schmelz erreicht werden kann, ist eine stärkere Säure oder eine längere Einwirkungszeit erforderlich, als es für die Freilegung des Dentinkollagens für einen Dentinverbund notwendig ist.

**Ätzen des Dentins:** Die Dentinätzung vergrößert die Öffnungen der Dentinkanälchen, entfernt die Schmierschicht oder löst sie auf und demineralisiert das Oberflächendentin (Abb. 2). Die Demineralisierung von peri- oder intertubulärem Dentin führt zu einer kelchförmigen Expansion der Dentinkanälchen bis zu einer Tiefe von etwa  $10\ \mu\text{m}$ <sup>11</sup>, wodurch poröse Bereiche mit freigelegten Kollagenfibrillen entstehen. Dies ist wesentlich für die Erzielung eines wirkungsvollen Verbunds. Anfänglich gestaltete sich das Ätzen des Dentins problematisch, da die ersten Adhäsivmaterialien hydrophob waren. Sie funktionierten ausreichend auf Schmelz, waren aber nicht in der Lage, in das Dentin einzudringen und einen erfolgreichen Verbund zu generieren. Moderne hydrophile Kunststoffe penetrieren jedoch feuchte, geätzte Dentinoberflächen und bilden eine Hybridschicht, wobei Kunststofftags, die sich in die Kanäle erstrecken, einen mikromechanischen Verbund herstellen. Die Hybridschicht versiegelt das freiliegende Dentin und geht mit der Compositorestauration während der Polymerisation des ersten Inkrementes einen kovalenten Verbund ein.

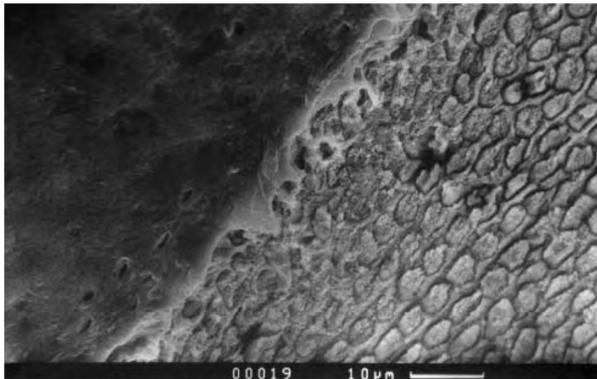


Abb. 1: **Geätzter Schmelz:** Links sieht man den ungeätzten Schmelz mit intakter Schmierschicht. Rechts erkennt man das Ätzmuster (REM Dr. P. Gabriel, Universität Leipzig)

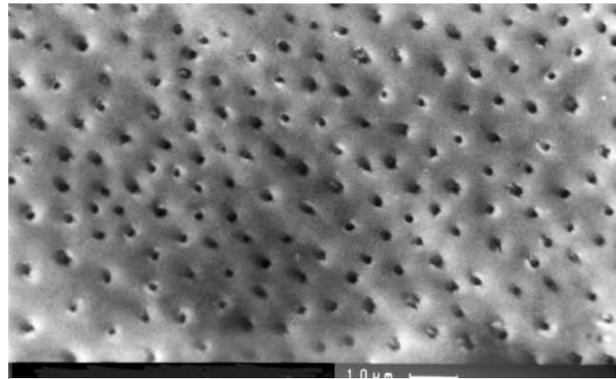


Abb. 2: **Geätztes Dentin:** Dentinoberfläche mit offenen Kanälchen nach der Konditionierung mit dem Phosphorsäure-Ätzel Total Etch. (REM Dr. P. Gabriel, Universität Leipzig)

Hybridisiertes Dentin ist eine Mischung aus adhäsiven Polymeren und Zahnhartgeweben, die sich auf der Molekularebene von der ursprünglichen Zahnhartsubstanz unterscheidet. Das grundsätzliche Prinzip der Adhäsion auf Zahns substraten basiert also auf einem Austauschprozess, in dem anorganisches Zahnmaterial durch synthetischen Kunststoff ersetzt wird.<sup>13</sup>

### 1.1.3 Die „Total-Etch“- oder „Etch-and-Rinse“-Technik

Der Begriff „Total-Etch“ bezieht sich auf das Verfahren, in dem sowohl Schmelz und Dentin vor dem Verbund geätzt werden. Total-Etch-Adhäsive beinhalten einen anfänglichen Ätzschritt mit Phosphorsäure ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ), der die Schmierschicht entfernt und die Präparation konditioniert. Die Total-Etch-Technik wird auch als „Etch-and-Rinse“-Technik bezeichnet. Die Phosphorsäureschicht wird zusammen mit der Schmierschicht abgespült und das freigelegte

Zahngewebe sorgfältig getrocknet. Dabei wird der Schmelz üblicherweise länger geätzt als das Dentin. Die Diskussion um die Frage, wie feucht „feucht“ ist, bezieht sich auf die Notwendigkeit, das Dentin nach dem Ätzen und Spülen nicht übermässig zu trocknen. Das Dentin sollte feucht und leicht glänzend bleiben, so dass die Kollagenfibrillen nicht kollabieren (wie gekochte Spaghetti), da dies die Oberfläche weniger durchlässig für die hydrophilen Monomere im Adhäsiv macht und zu einer schwachen Grenzschicht führt, was möglicherweise zu einem mangelhaften Verbund und postoperativer Sensibilität führen kann.

Deshalb und auf Grund der Tatsache, dass diese Technik aus mehreren Schritten besteht, werden Total-Etch-Adhäsive oft als techniksensibel bezeichnet.<sup>14</sup> Sie sind jedoch sehr gut etabliert und klinisch äusserst erfolgreich.<sup>15, 16</sup>

#### 1.1.4 *Selective-Etch-Technik*

Dieser Begriff bezeichnet die konventionelle Ätztechnik, in der nur die Schmelzränder einer Präparation mit Phosphorsäure geätzt und danach abgespült werden. Das Dentin wird danach mit einem säurehaltigen Primer konditioniert oder mit einem selbstätzenden All-in-one-Adhäsiv behandelt. Die Schmierschicht wird dabei modifiziert, aber nicht entfernt, da die Oberflächen nach dem Primerauftrag nicht abgespült werden. Diese Methode (nun weniger gebräuchlich als die Total-Etch-Technik) kann auch als eine Etch-and-Rinse-Technik nur für Schmelz betrachtet werden.

#### 1.1.5 *Selbstätztechnik*

Selbstätzende Adhäsive sind zur Anwendung ohne einen separaten Ätzschritt gedacht. Selbstätzende Systeme enthalten säurehaltige Monomere, die Schmelz und Dentin vorbehandeln/ätzen. Im Gegensatz zu Total-Etch-Systemen ist hier die Gefahr von übermässiger Demineralisierung des Dentins kleiner, da selbstätzende Systeme das Dentin nur in dem Ausmass demineralisieren, wie der Primer eindringt – alle demineralisierten Bereiche werden sofort mit Monomer gefüllt. Der potenziell techniksensible Schritt der Trocknung des Dentins nach dem Ätzen bis zum genau richtigen Grad ist also nicht notwendig, und die Gefahr, dass die Kollagenfasern kollabieren, kann ausgeschlossen werden. Jeder dieser Faktoren sollte das Risiko von postoperativen Beschwerden weiter reduzieren. Dabei muss beachtet werden, dass einige Zahnärzte den Schmelz selektiv mit Säure ätzen, bevor sie ein selbstätzendes Adhäsiv anwenden.

## 2. Ein kurzer geschichtlicher Abriss der Adhäsive

Um die gegenwärtige Situation der adhäsiven Zahnheilkunde zu verstehen, ist es wichtig, einen Blick auf die Vergangenheit zu werfen und darauf, wie und warum die verschiedenen Generationen der Adhäsive sich entwickelt haben. Das Konzept, einen Verbund zu Schmelz und Dentin zu erzeugen, wurde zum ersten Mal vor 50 Jahren von Buonocore angedacht.<sup>9</sup> In Anlehnung an industrielle Verbundtechniken postulierte er, dass Säuren zur Oberflächenbehandlung vor der Anwendung von Kunststoffen benutzt werden könnten und fand heraus, dass die Schmelzätzung mit Phosphorsäure die Dauer der Adhäsion unter Wasser verlängerte. Im Jahr 1963 leistete er einen weiteren Beitrag zur Diskussion um die Unterschiede zwischen dem Verbund mit Schmelz und jenem mit Dentin.<sup>17</sup> In den späten sechziger Jahren regte er an, dass hauptsächlich die Bildung der Kunststofftags in den Mikroporositäten von geätztem Schmelz für die Adhäsion verantwortlich zeichnete. Dabei war die Adhäsion auf Dentin auf Grund seiner Zusammensetzung, des Wassergehalts und der Schmierschicht etwas schwieriger zu erzielen.

Die ersten Dentaladhäsive stellten deshalb nur einen Verbund zwischen Kunststoffen und dem Schmelz her und nur wenig oder keine Adhäsion zum Dentin. Die Adhäsive wurden dann schrittweise weiterentwickelt mit Änderungen in der chemischen Zusammensetzung, der Anwendung, dem Mechanismus, der Technik und der Wirksamkeit – eine Evolution, die die Entwicklung von zunehmend ästhetischeren Dentalmaterialien begleitete, insbesondere Composite-Kunststoffe und Keramiken.

### 3. Klassifizierung von Adhäsiven

Die Klassifizierung von Adhäsiven in klar abgegrenzte Kategorien ist praktisch unmöglich. Über die Jahre wurden Adhäsive unterschiedlich klassifiziert nach Generation, Ätzmethode, Anzahl der benötigten Flaschen oder die Anzahl der individuellen Schritte. Zusätzlich definieren Autoren/Zahnärzte oft die Generationen unterschiedlich, sie schliessen das Ätzen in die Kalkulation der Flaschenzahl oder Schritte ein oder nicht, und einige Autoren ordnen spezifische Adhäsive unterschiedlichen Gruppen zu, z.B. die Klassifizierung eines Mehrschritt-Adhäsivs mit separatem Primer (traditionell als Etch-and-Rinse-Adhäsiv betrachtet) als selbststützendes Adhäsiv. Die unterschiedlichen Klassifizierungen und Interpretationen erschweren zweifellos eine vergleichende Analyse. Die folgenden Absätze und Tabelle 1 sind ein Versuch, in der Situation etwas Klarheit zu schaffen.

#### 3.1 *Klassifizierung nach Generation*

Dentaladhäsive können bis zu einem gewissen Grad chronologisch nach Generationen klassifiziert werden – ein historisch bedingtes System, das gemeinhin von den Herstellern von Adhäsiven benutzt wird. Die Generation bezieht sich dabei einfach auf den Zeitpunkt und die Reihenfolge, in der dieser Typ Adhäsiv von der Dentalindustrie entwickelt wurde. Das reicht von der 1. Generation in den 1960er Jahren bis zur modernen 7. Generation der Adhäsive.

Die Haftvermittler der 1. und 2. Generation werden nicht mehr benutzt, hauptsächlich auf Grund des gescheiterten Bestrebens, einen Verbund mit einer lose abgegrenzten Schmierschicht herzustellen. Sie erzielten dürftige Haftfestigkeitswerte von 2-8 MPa und scheiterten in der Vermeidung von Randspalten. Die Hersteller produzieren nun Produkte der so genannten 7. Generation, obwohl die Adhäsive der 3., 4., 5. und 6. Generation noch immer beliebt sind und je nach klinischer Situation sowie Präferenzen und Erfahrung des Zahnarztes verschiedene Vorteile bieten. Tabelle 1 zeigt eine ungefähre Zeitskala und die Hauptunterschiede zwischen den einzelnen Generationen:

Generation	Entwicklung	Mechanismus / Schritte		Beschreibung
1	1960er/1970er	Nicht mehr in Gebrauch		Nur Schmelzätzung, Adhäsion zur Schmierschicht durch die Bildung von Chelatverbindungen mit oberflächlichen Kalziumionen via Comonomere
2	1960er/1970er			Nur Schmelzätzung, Adhäsion zur Schmierschicht durch die Interaktion zwischen den Kalziumionen in der Schmierschicht und/oder dem dentalen Substrat und den polymerisierbaren Phosphaten im Bis-GMA-Kunststoff.
3	1980er/1990er	Etch & Rinse	<b>Selektive Ätzung/ Mehrere Schritte</b>	Selektive Schmelzätzung / ätzen und spülen mit H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> oder einer anderen organischen Säure. Dentin mit Primer konditioniert, um die Schmierschicht zu modifizieren oder zu entfernen.
4	1990er		<b>Total-Etch/ Mehrere / 3 Schritte</b>	Total-Etch / Etch-and-Rinse: Primer und Adhäsiv separat.
5	Mitte 1990er		<b>Total-Etch/ 2 Schritte</b>	Total-Etch / Etch-and-Rinse: Primer und Adhäsiv kombiniert.
6	Späte 1990er	Selbstätzung	<b>Selbstätzung/ 2 Schritte</b>	Selbstätzung: Ätzmittel und Primer kombiniert, dann hydrophober Verbund, d.h. selbstätzend/mehrere Komponenten
7	2000+		<b>Selbstätzung/ 1 Schritt</b>	Selbstätzung: Ätzmittel, Primer und Adhäsiv kombiniert, d.h. selbstätzend / eine Komponente

Tabelle 1: Übersicht über die Klassifizierung der Adhäsive nach Generation, Adhäsionsmechanismus und Anzahl klinischer Schritte

### 3.1.1 Generationen von Ivoclar Vivadent-Adhäsiven

Das Mehrschrittssystem Syntac kann sowohl der 3. als auch der 4. Generation zugerechnet werden, da es in der Selective-Etch-Technik (3. Generation) oder der Total-Etch-Technik (4. Generation) angewandt werden kann. ExciTE F ist ein typisches Einkomponenten-Adhäsiv (in Flasche oder Vivapen) mit einem separatem Total-Etch-Schritt und gehört der 5. Generation an. AdheSE als selbstätzendes Zweischnittsystem gehört zur 6. Generation und AdheSE One F, ein selbstätzendes Einkomponentenadhäsiv, zur 7. Generation.

### 3.2 Klassifizierung nach Mechanismus der Adhäsion / klinischen Schritten

Während die Klassifizierung nach Generationen für die Betrachtung der Adhäsive aus historischer Sicht sicher hilfreich ist, kann es für die sich gegenwärtig auf dem Markt befindenden Adhäsive (Generationen 3 bis 7) sinnvoller sein, sie danach zu klassifizieren, wie sie funktionieren und wie viele Arbeitsschritte benötigt werden.

Moderne Dentaladhäsive können in zwei grundsätzliche Arten unterteilt werden: **Etch-and-Rinse-** und **selbststützende** Adhäsive. Obwohl der Begriff Etch-and-Rinse oft als Synonym für Total-Etch-Adhäsive gebraucht wird, deckt er theoretisch sowohl Total-Etch- als auch Selective-Etch-Adhäsive ab (Total-Etch: Schmelz und Dentin werden geätzt und gespült; Selective-Etch: nur Schmelz wird geätzt und gespült). Diese Systeme können dann noch in Unterkategorien basierend auf der Anzahl der notwendigen klinischen Schritte unterteilt werden: z.B. Mehrschritt-, Dreischritt- und Zweischritt-Etch-and-Rinse-Systeme und selbststützende Zweischritt- und Einschnitt-Systeme.

Das Etch-and-Rinse-System unterscheidet sich dadurch, dass vor den Primer- und Bonding-Schritten ein separater Etch-and-Rinse-Schritt ausgeführt wird. Das Dreischritt-Etch-and-Rinse/Total-Etch-System (mit Adhäsiven der 4. Generation) folgt dem konventionellen Ansatz von „Etch-Rinse-Prime-Bond“. Das Zweischritt-Etch-and-Rinse-System (mit Adhäsiven der 5. Generation, auch bekannt als Einflaschen-Adhäsive) kombiniert den Primer und den Haftvermittler in einer Anwendung. Beim selbststützenden Adhäsivsystem wird die Spülphase nach dem Ätzen mit der Verwendung von säurehaltigen Monomeren zum gleichzeitigen Ätzen und Vorbehandeln des Dentins, die nicht abgespült werden müssen, eliminiert. Das selbststützende Zweischritt-System (mit Adhäsiven der 6. Generation) verwendet säurehaltige Monomere als selbststützende Primer im ersten Schritt und ein Bonding im zweiten Schritt. Das selbststützende Einschnitt-System (mit Adhäsiven der 7. Generation, auch bekannt als All-in-One-Adhäsive) kombiniert den (selbststützenden) säurehaltigen Primer mit dem Bonding in einem Anwendungsschritt. Dies erlaubt die gleichzeitige Infiltration des Bondings bis zur Demineralisationstiefe, was die postoperative Sensibilität reduzieren kann.

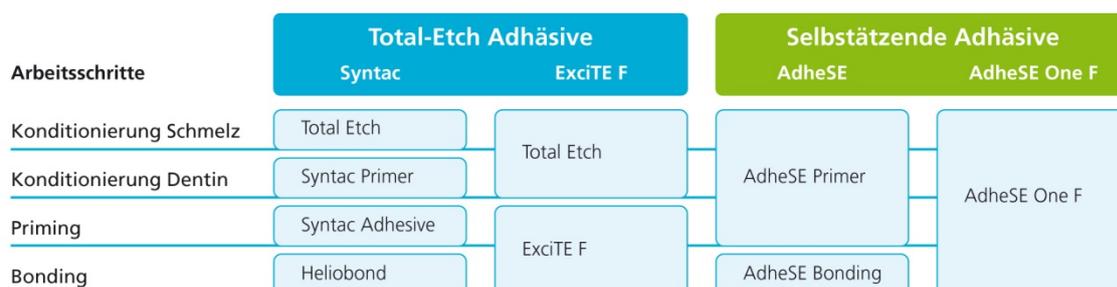
Um einem Überblick über die Adhäsive aus historischer und gegenwärtiger Sicht zu vermitteln, wird in Tabelle 1 versucht, die beiden Klassifizierungsmethoden zu kombinieren.

## 4. Adhäsive von Ivoclar Vivadent: Portfolio

Ivoclar Vivadent stellt sowohl Total-Etch- als auch selbststützende Adhäsive her. Es gibt stichhaltige Gründe für und gegen beide Arten von Adhäsiven und für die Mehrflaschen-/Einflaschen-Versionen innerhalb dieser Gruppen. Für Total-Etch-Adhäsive bestehen längere klinische Erfahrungen, und sie zeigen ein ausgeprägteres Ätzmuster im Schmelz sowie eine grossflächige Entfernung der Schmierschicht. Andererseits sind selbststützende Adhäsive weniger techniksensibel,<sup>20</sup> reduzieren das Risiko eines Kollagenkollapses und benötigen weniger Anwendungsschritte.

Die Abbildungen 3a und 3b zeigen auf, wie die einzelnen Adhäsive von Ivoclar Vivadent einen Verbund erzielen. Abbildung 3a zeigt die Schritte für die lichthärtenden Adhäsive Syntac, Excite F, AdheSE und AdheSE One F. Abbildung 3b zeigt die notwendigen Schritte für die dualhärtenden Adhäsive.

### Lichthärtende Anwendung



### Dualhärtende Anwendung

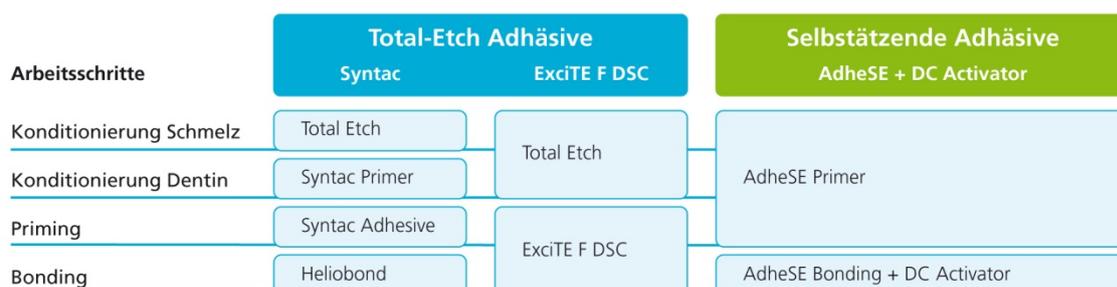


Abb. 3a: Lichthärtende Adhäsive.    Abb. 3b: Dualhärtende Adhäsive

## 5. Syntac

Syntac wurde im Jahr 1990 im Markt eingeführt. Es handelt sich um ein traditionelles Mehrschritt-Adhäsivsystem, das in Fachkreisen auch als „Syntac Classic“ bezeichnet wird. Obwohl der Zusatz „classic“ nicht von Ivoclar Vivadent AG stammt, ist der Name doch passend, da er die traditionellen, langfristigen, bekannten und verlässlichen Aspekte des Adhäsivs zum Ausdruck bringt.

Syntac ist ein lichthärtendes Mehrkomponenten-Adhäsivsystem mit universellen Anwendungsbereichen. Es kann für die Befestigung von **direkten** Restaurationen, d.h. licht-, selbst- und dual-härtende Composites und Compomere, und **indirekten** Restaurationen, d.h. metallfreie Restaurationen mit licht- oder dualhärtenden Befestigungscomposites, wie Variolink II, verwendet werden. Der Primer und das Adhäsiv enthalten keine lichthärtenden Initiatoren, weshalb Syntac immer in Kombination mit dem lichthärtenden Haftvermittler Heliobond verarbeitet wird.



Abb. 4: Das Syntac Adhäsiv-System: Syntac Primer, Syntac Adhäsiv und Heliobond

Syntac ist leicht anzuwenden und zeichnet sich durch ein übersichtliches Design aus. Die Farben der Flaschen stimmen mit den Farben der Pinsel überein, während die Nummern auf den Flaschen mit den nummerierten Bereichen auf dem Vivapad übereinstimmen (siehe Abbildung 5).



Fig. 5: Syntac Drei-Flaschen-System: Syntac Primer, Syntac Adhäsiv und Heliobond

### 5.1 Mechanismus von Syntac

Der Durchbruch im Bereich Dentinverbund kam mit den Mehr-/Drei-Schritt-Systemen, die den Übergang zwischen dem hydrophilen Dentin und dem hydrophoben Füllungsmaterial mit Hilfe der sequenziellen Anwendung der Komponenten ermöglichten. Im Wesentlichen waren die Mehrkomponenten-Systeme in der Lage, jedes Verbundproblem anzugehen, was dem Zahnarzt erlaubte, einen Übergang zwischen dem hydrophilen Dentin und dem hydrophoben Composite zu erzielen. Syntac ist ein klassisches Beispiel der 3./4. Generation von Adhäsiven. Nach dem Ätzen und Spülen wird der hydrophile Syntac Primer auf die gesamte Kavität aufgetragen (Schmelz und Dentin), gefolgt vom hydrophilen Syntac Adhäsiv und einer Schicht des hydrophoben Heliobond.

Die untenstehende Tabelle zeigt die Arbeitsschritte von Syntac zur Herstellung des Verbundes zwischen dem Restaurationsmaterial und der Zahnhartsubstanz. Sowohl die Selective-Etch- und die Total-Etch-Technik werden berücksichtigt.

Arbeitsschritt	Zweck des Arbeitsschritts	Syntac-Komponenten
Konditionierung des Schmelzes	Freilegung des retentiven Schmelz-Ätz-Musters	Total Etch
Konditionierung des Dentins	Entfernung der Schmierschicht und Freilegung des Kollagens und der Kanälchen	Total Etch
	Modifizierung der Schmierschicht und Freilegung des Kollagens und der Kanälchen / Infiltrierung, hydrophile Benetzung	Syntac Primer
Priming / Benetzung	Infiltration von freigelegtem Kollagen mit Kunststoffen, die hydrophil genug sind, Dentin zu benetzen, z.B. PEGDMA plus Maleinsäure, Glutaraldehyd und Wasser. Schaffung eines Überganges zwischen dem hydrophilen Substrat und der geplanten Restauration mit der Hilfe von Tagbildung.	Syntac Adhäsiv
Bonding	Beschichtung des vorbehandelten Dentins und des geätzten Schmelzes mit einem hydrophoben Haftvermittler, um einen Verbund mit dem Composite/der Restauration herzustellen. Kreuzvernetzung durch Copolymerisation mit dem Restaurationsmaterial	Heliobond

Tabelle 2: Wirkungsweise von Syntac

Die Konditionierungsschritte sind blau markiert. Die Selective-Etch-Technik besteht aus den Schritten, die hellblau markiert sind, während die (bevorzugte) Total-Etch-Technik aus allen blau und hellblau markierten Schritten besteht. Wenn die Total-Etch-Technik angewendet und die gesamte Kavität geätzt wurde, wird Syntac Primer zur Infiltration/Benetzung und nicht zur Modifikation der Schmierschicht auf das Dentin aufgetragen, da das Ätzen und Spülen die Schmierschicht bereits entfernt haben.

Die Wirkungsweise der Vorbehandlung und Konditionierung von Syntac auf Dentin wird unten aufgezeigt:

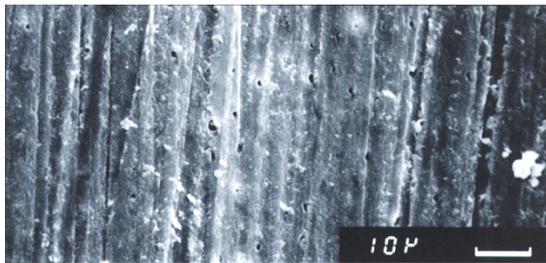


Abb. 6: Unbehandeltes Dentin mit intakter Schmierschicht (REM 10 μm)

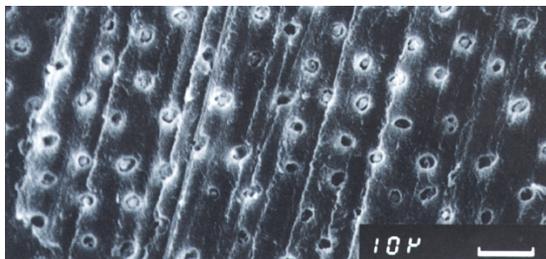


Abb. 7: Dentin nach der Behandlung mit Syntac Primer: Geöffnete und teilweise geöffnete Kanäle (REM 10 μm)



Abb. 8: Dentin (gelöste Oberfläche) mit den „Polymertags“ nach der Adhäsivbehandlung (REM 10 μm)

## 5.2 Selective-Etch vs. Total-Etch

Syntac kann in der Selective-Etch-Technik angewendet werden, wobei nur der Schmelz mit Phosphorsäure geätzt wird, gefolgt von der Konditionierung des Dentins mit Syntac Primer, wie es für die Adhäsive der 3. Generation in Tabelle 1 angezeigt ist. Heutzutage ist es jedoch das übliche Verfahren, Syntac in der Total-Etch-/Etch-and-Rinse-Technik anzuwenden, da generell anerkannt wird, dass mit dieser Technik bessere Resultate erzielt werden können.<sup>21</sup> Sowohl der Schmelz (15-30 Sekunden) als auch das Dentin (10-15 Sekunden) werden mit Phosphorsäure geätzt, bevor der Primer auf die gesamte Kavität aufgetragen wird.

Als Syntac ursprünglich eingeführt wurde, sahen die Anweisungen an die Zahnärzte vor, die Selective-Etch-Technik anzuwenden. Mit zunehmender Erfahrung und Studien im Adhäsivbereich wurde die Total-Etch-Technik populärer. Die Ätzung des Dentins entfernt die Schmierschicht, was, wie allgemein angenommen wird, den Verbund insgesamt verbessert.<sup>7,8</sup> Viele betrachten dies sogar als entscheidende Technologie und eine Voraussetzung für die Bildung einer stabilen Hybridschicht.<sup>22,23</sup>

Gwinnett et al.<sup>24</sup> verglichen 1992, die Selective-Etch und die Total-Etch-Technik mit Syntac, indem sie den Dentinverbund und die Randdichtigkeit verglichen, die mit jeder Vorgehensweise mit Heliomolar erreicht wurde. Obwohl die Haftfestigkeit durch Ätzen nicht beeinträchtigt wurde, konnte die Randdichtigkeit verbessert werden. Frankenberger et al.

verglichen ebenfalls Selective-Etch mit Total-Etch und berichteten über eine verbesserte Haftfestigkeit mit Syntac, wenn die Total-Etch-Technik angewandt wurde, auch wenn der Unterschied nicht signifikant war.<sup>25</sup> Im Wesentlichen kann die Etch-and-Rinse-/Total-Etch-Technik als die aktuelle Standardtechnik für Syntac betrachtet werden, obwohl einige Anwender noch immer die Selective-Etch-Technik verwenden.

### **5.3 Trends in der Anwendung von Adhäsiven**

Die Adhäsive der moderneren Generationen weisen nicht notwendigerweise bessere Eigenschaften als die Adhäsive der früheren Generationen auf. Zahnärzte sind sich grösstenteils dieser Tatsache bewusst, und so erfreuen sich die früheren Materialien weiterhin grosser Beliebtheit und geniessen einen guten Ruf in Bezug auf ihre Verlässlichkeit, trotz erzielten Fortschritte von Etch-and-Rinse-Mehrkomponenten-Systemen bis hin zu selbstätzenden All-in-one-Adhäsiven.

Selbstätzende Zweikomponenten- und All-in-one-Adhäsive zeigten seit 2003 das grösste Wachstum am Markt, während die Anwendung von Einflaschen-Total-Etch-Adhäsiven ebenfalls zugenommen hat. Deutschland ist der grösste Markt für Syntac, und der Absatz ist stark geblieben (24 % Marktanteil im Sektor für konventionelle Bondingmaterialien/GfK-Umfrage 2009/2010), wenn auch relativ statisch. Konventionelle Bondingmaterialien machen noch immer etwa 45 % des Umsatzes des deutschen Marktes für Bondingmaterialien aus, während der Rest mit selbstätzenden Materialien erzielt wird.<sup>26</sup> Was jedoch die tatsächliche Anwendung betrifft, zeigte eine von GfK 2010 gemachte Umfrage bei 300 Zahnärzten, dass geschätzte 62 % der adhäsiven Verfahren mit der konventionellen/Etch-und-Rinse-Technik und die übrigen 38 % mit der selbstätzenden Technik durchgeführt wurden.<sup>27</sup>

Auf Grund der unterschiedlichen Fähigkeiten von selbstätzenden und Total-Etch Adhäsiven Schmelz und Dentin zu ätzen, bevorzugen viele Zahnärzte intuitiv noch immer die Total-Etch-Adhäsive, vor allem wenn ein Grossteil der Verbundfläche im Schmelz liegt, z.B. ästhetisch kritische Frontzahn-Restaurationen.

Der Erfolg von adhäsiven Restaurationen hängt nicht nur von der Art des Adhäsivs ab, sondern auch von dessen korrekter Anwendung. Fehler in der Anwendung können zu verstärkten Randverfärbungen, postoperativer Sensibilität und Retentionsverlust führen. Viele Zahnärzte entscheiden sich daher, bei dem Produkt zu bleiben, das für sie gut funktioniert. Syntac und andere Mehrkomponenten-Etch-and-Rinse-Adhäsive wurden deshalb noch nicht durch die „einfacheren“ selbstätzenden und All-in-one-Produkte ersetzt, sondern die Systeme werden parallel verwendet. Es ist allgemein akzeptiert, dass je mehr Zeit in die Adhäsiv-Technik investiert wird, desto besser die klinischen Resultate ausfallen, und dass die Ätzung mit Phosphorsäure die wirkungsvollste Weise ist, Schmelz vorzubehandeln, da mit dieser Methode durchwegs bessere Randqualitäten erreicht werden<sup>28</sup>. Vor diesem Hintergrund versteht sich auch die Diskussion über die Wiedereinführung von selektiver Ätzung für selbstätzende Adhäsive. Frankenberger verglich die Haftfestigkeitswerte von selbstätzenden Adhäsiven angewandt auf Dentin und Schmelz gemäss den Herstellerangaben und nach vorausgehendem Total-Etch-Schritt. Während sich die Schmelzwerte erheblich erhöhten, neigten die Werte auf Dentin dazu, sich erheblich zu verschlechtern. Selektives Ätzen scheint also sinnvoll zu sein, wenn ein Verbund zu Schmelz und Dentin hergestellt werden soll.<sup>28,29</sup> Gemäss Frankenberger ist selektives Ätzen in Kombination mit selbstätzenden Adhäsiven immer sinnvoll.<sup>21</sup>

### **Syntac „Classic“**

Mehrschritt-Adhäsive wie Syntac bleiben auf Grund ihrer Verlässlichkeit populär. Das Syntac Adhäsiv-System wird seit über 20 Jahren mit aussergewöhnlichem klinischen Erfolg angewendet.<sup>30,31,32</sup> Zahlreiche Studien und Millionen von zufriedenen Anwendern bestätigen diesen Erfolg. Akzeptiert als „Klassiker“, hat sich Syntac zum Goldstandard für Adhäsive entwickelt und wird oft auch als Vergleichsprodukt in klinischen und In-vitro-Studien herangezogen.

## 6. Technische Daten

### Syntac Primer & Syntac Adhäsive

#### 2-Phasen-Adhäsivsystem

<u>Standard-Zusammensetzung</u>		in Gew.-%
<b><u>Primer</u></b>	Dimethacrylat	25.0
	Maleinsäure	4.0
	Lösungsmittel	71.0
	Stabilisator	< 0.1
<b><u>Adhäsiv</u></b>	Dimethacrylat	35.0
	Maleinsäure	< 0.01
	Glutaraldehyd	5.0
	Wasser	60.0

#### Physikalische Eigenschaften

Scherhaftkraft auf Dentin > 12 MPa

### Heliobond

#### Lichthärtender Haftvermittler

<u>Standard-Zusammensetzung</u>		in Gew.-%
Bis-GMA		59.5
Triethylenglykoldimethacrylat		39.7
Stabilisatoren und Katalysatoren		0.8

#### Physikalischen Eigenschaften

Vickershärte HV 0.2/30 180 MPa  
Brechungsindex  $n_D^{25}$  1.5129

## 7. In-vitro-Untersuchungen

Zahlreiche in-vitro-Untersuchungen werden während der Entwicklungsphase eines Dentalprodukts durchgeführt. Obwohl sie nicht geeignet sind, einen klinischen Erfolg vorauszusagen, können sie doch nützliche Hinweise liefern. Bei der Entwicklung von Dentaladhäsiven sind Haftung und Randqualität von grundlegender Bedeutung. Die Untersuchungen werden an extrahierten menschlichen Zähnen oder Rinderzähnen durchgeführt.

Mehrere In-vitro-Untersuchungen mit positiven Resultaten für Syntac wurden in den 1990er Jahren durchgeführt, zeitgleich mit der Markteinführung. Die meisten der Vergleichsprodukte dieser Untersuchungen sind jedoch nicht mehr erhältlich. Aus diesem Grund werden hier die Resultate der In-vitro-Studien jüngerer Datums von Frankenberger et al. vorgestellt. In der Zwischenzeit sind natürlich aussagekräftigere klinische Daten erhältlich, die den Erfolg von Syntac untermauern (siehe Kapitel 8).

### 7.1 Syntac und Haftfestigkeit

Es gibt noch kein international standardisiertes Testprotokoll für Haftfestigkeitstests. In Scherhaftfestigkeitstests wird im Allgemeinen ein Probekörper aus Composite, der mit Hilfe des zu testenden Adhäsivs auf einem Substrat befestigt wurde, parallel zur Bondingoberfläche abgeschert. In einem Bruchfestigkeitstest wird die Kraft im rechten Winkel zur Bondingoberfläche ausgeübt.

In einem Review über Adhäsivtechniken im Jahr 2010 verglichen Frankenberger et al. die Mikrobruchfestigkeit von 18 aktuell erhältlichen Total-Etch-/Etch-and-Rinse- und selbstätzenden Adhäsiven, mit denen Composite auf Dentin- und Schmelzprüfkörper befestigt wurden, nach 6 Monaten Wasserlagerung bei 37 °C. Siehe Abb. 9.

Alle Adhäsive wurden gemäss den Herstellerangaben verwendet. Syntac und A.R.T. Bond/Coltène Whaledent wurden in der Total-Etch-Technik verarbeitet. Syntac schneidet im Vergleich mit anderen Total-Etch- und selbstätzenden Adhäsiven sehr vorteilhaft ab und erzielte die dritthöchsten Haftfestigkeitswerte auf Schmelz und Dentin in dieser Studie. Grundsätzlich erzielen die Mehrschritt-Adhäsive bessere Resultate als die All-in-one-Produkte. Wie bereits in Punkt 5.3 erwähnt, wurden alle Produkte dem gleichen Test unterzogen, wobei die Total-Etch-Technik die Haftfestigkeit auf Schmelz verbesserte, aber jene auf Dentin verringerte. Damit liegt nahe, dass, falls klinisch machbar, die selektive Ätztechnik für selbstätzende Adhäsive sinnvoll wäre.<sup>28</sup>

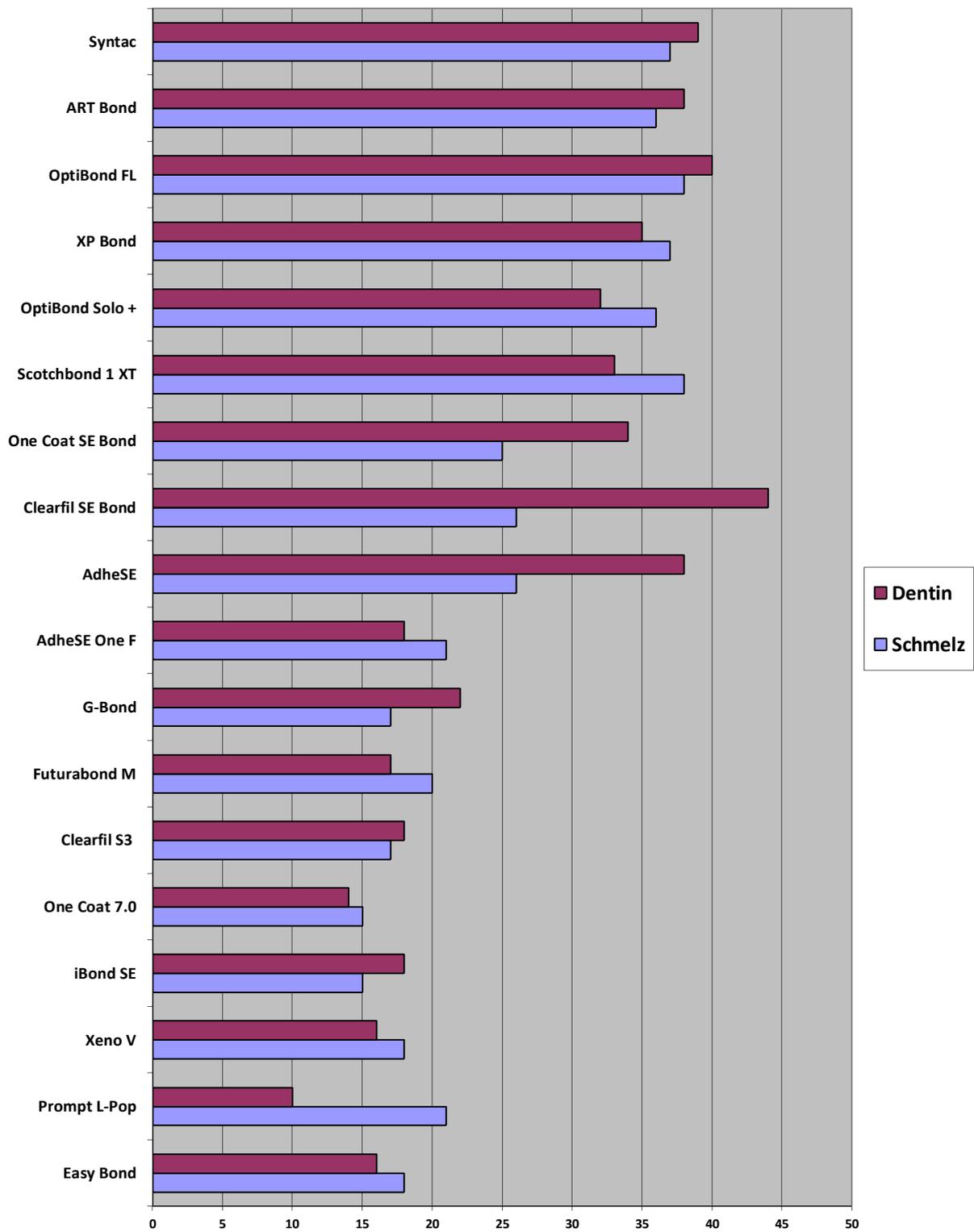


Abb. 9: Microtensile-Haftungen an extrahierten, bleibenden Zähnen (Dentin und Schmelz) nach 6 Monaten Wasserlagerung bei 37 °C *Frankenberger et al. 2010*<sup>28</sup>

## 7.2 Syntac und Randdichtigkeit

Microleakage kann definiert werden als klinisch nicht wahrnehmbarer Fluss von Mikroorganismen, Flüssigkeiten oder Molekülen zwischen Zahn und Füllung. Randundichtigkeit kann zu Sensibilitäten, Randverfärbungen und Sekundärkaries führen. Randdichtigkeit wird üblicherweise an extrahierten Zähnen gemessen, die einer Temperaturwechselbelastung oder mechanischer Belastung unterzogen wurden. Bei der Beurteilung wird die Dichtigkeit mittels Farbstoffpenetration bestimmt, während bei der morphologischen Methode die Randqualität anhand von Replikas im REM beurteilt wird.

Frankenberger (2006) untersuchte den Verbund zu Schmelz und Dentin sowie die Randqualität von verschiedenen Total-Etch/Etch-and-Rinse und selbstätzenden Adhäsiven für Bonding in Kavitäten der Klasse II vor und nach Kausimulation. Er berechnete den Anteil an perfektem Rand und zeigte, dass Total-Etch-Adhäsive auf Schmelz bessere Resultate erzielten als die selbstätzenden Zwei- und Einschnitt-Adhäsive, sowohl vor als auch nach der Kausimulation. Auf Dentin zeigten die Mehrschritt-Adhäsive klar bessere Resultate als die All-in-one-Adhäsive.<sup>37</sup>

In Jahr 2008 untersuchten Frankenberger et al. die Randqualität von Keramik-Inlays, die mit Hilfe verschiedener Adhäsiv-/Zementsysteme eingesetzt wurden. Die Qualität der Ränder wurde unter dem REM beurteilt; dabei wurden Replikas aus Epoxidharz vor und nach thermomechanischer Belastung (TML) untersucht. Neun Kombinationen aus Adhäsiv/Befestigungskomposit (Total-Etch und Self-Etch) oder nur selbstätzende Zemente wurden untersucht. Etch-and-Rinse-Systeme zeigten signifikant höhere Anteile an spaltfreien Rändern im Schmelz als alle anderen Befestigungssysteme ( $p < 0.05$ ). Syntac + Variolink II zeigten die höchsten Anteile an spaltfreien Rändern nach TML (Abb. 10).

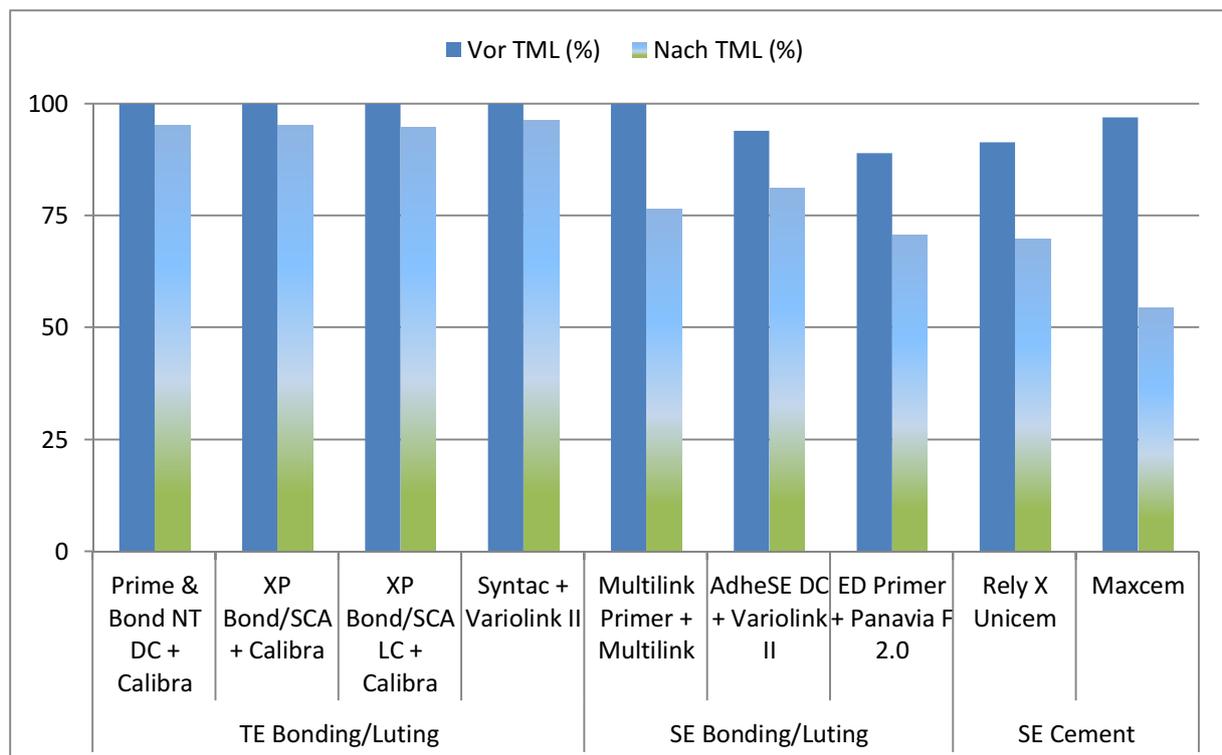


Abb. 10: Anteil an spaltfreien Rändern im Schmelz von neun verschiedenen Bonding/ Befestigungssystemen vor und nach thermomechanischer Belastung. REM-Analyse. *Frankenberger et al. 2008*<sup>38</sup>

Bei den Dentinrändern zeigte das selbstätzende AdheSE DC + Variolink II die höchsten Anteile an spaltfreien Rändern. Die Autoren schlossen daraus, dass Etch-and-Rinse-Adhäsive in Kombination mit konventionellen Befestigungskompositen noch immer die beste Prognose für die adhäsive Befestigung von Glaskeramik-Inlays zeigen.<sup>38</sup>

Im Jahr 2009 bewertete Frankenberger moderne Verbundstrategien und legte die Ergebnisse von Untersuchungen zur Randintegrität nach Kausimulation vor. Abb. 11 zeigt diese Ergebnisse. Syntac zeigte den höchsten Anteil perfekter Ränder in Schmelz (ca. 90 %) und den zweithöchsten Anteil in Dentin nach Clearfil SE Bond/Kuraray. Ähnlich wie in Abb. 9 zeigen die Resultate, dass Ätzen mit Phosphorsäure noch immer die wirkungsvollste Art der Vorbehandlung des Schmelzes ist, da alle Total-Etch (Etch-and-Rinse)-Adhäsive signifikant bessere Randqualitäten erzielten als selbstätzende Adhäsive.<sup>21</sup>

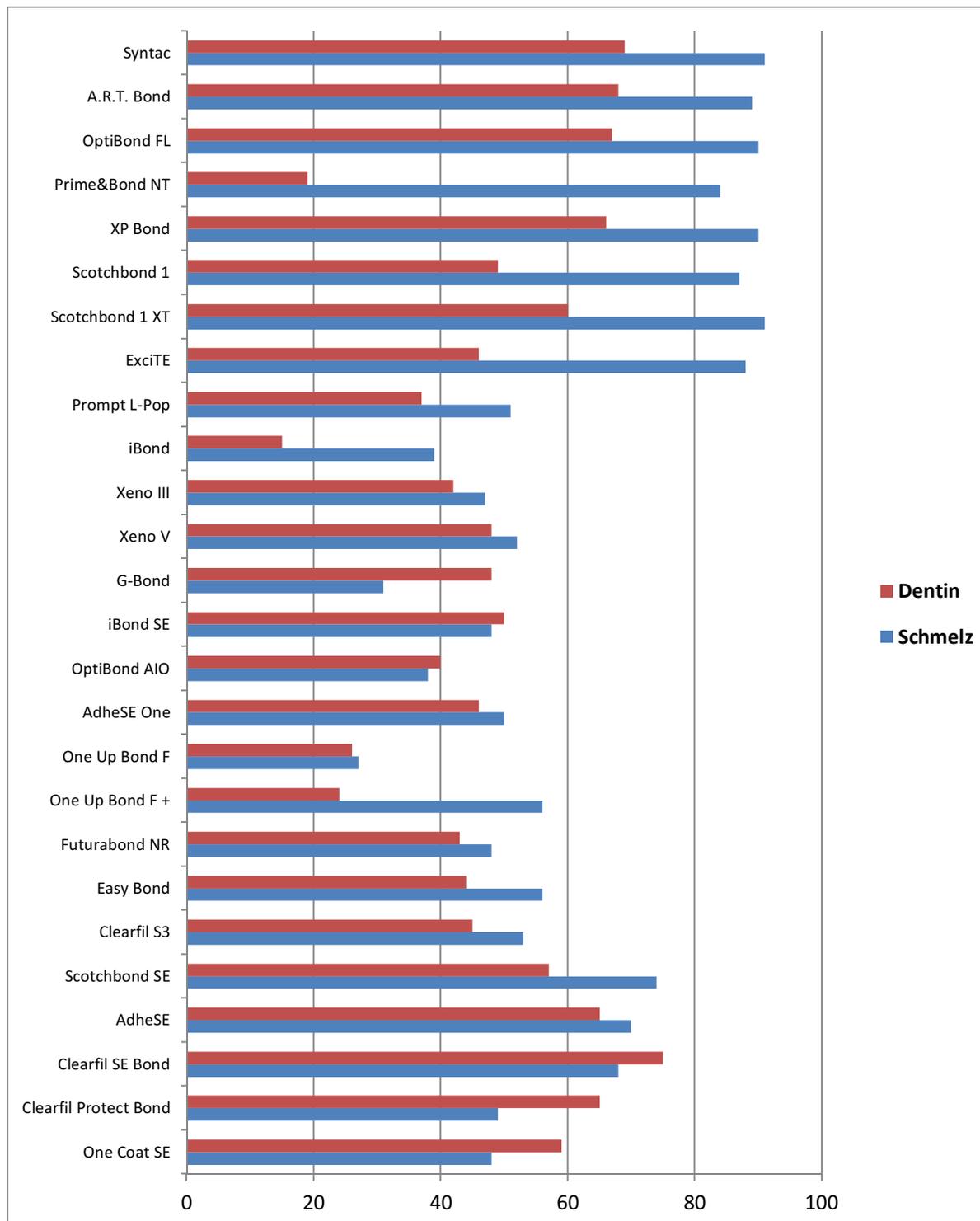


Abb. 11: Anteil an perfekten, spaltfreien Rändern in Dentin und Schmelz bei approximal dentinbegrenzten Compositefüllungen nach thermomechanischer Belastung. (Enamel = Schmelz) Frankenberger et al. 2009<sup>21</sup>

## 8. Klinische Untersuchungen

Klinische Studien sind der beste Weg, wissenschaftliche Aussagen zur klinischen Leistungsfähigkeit einer adhäsiven/restaurativen Behandlung zu machen.<sup>39</sup> Es wurden sowohl externe als auch interne klinische Studien durchgeführt, und da Syntac schon **mehr als zwei Jahrzehnte** auf dem Markt ist, wurde auch die Literatur hinsichtlich klinischer Studien untersucht.

### 8.1 Externe kontrollierte klinische Studien

Zur Zeit der Einführung von Syntac wurde eine Reihe externer klinische Studien mit Syntac durchgeführt. Die Studien wurden an europäischen und amerikanischen Universitäten durchgeführt und dauerten bis zu vier Jahre. Sie untersuchten die klinische Leistungsfähigkeit von Syntac für direkte und indirekte Restaurationen. In den Studien wurde die Total-Etch-Technik angewandt. Tabelle 3 bietet einen kurzen Überblick über die Ergebnisse dieser sieben Studien.

Studienleiter	Restaurationsart	Studiendauer	Ergebnisse
<i>I. Krejci</i> Universität Zürich, Schweiz	Syntac / Tetric 39 direkte Seitenzahnfüllungen	4 Jahre	Klinische Bewertung nach 6, 12 und 48 Monaten: 100 % klinisch akzeptabel, keine Frakturen, keine Karies nach 4 Jahren.
<i>A. Petschelt</i> Universität Erlangen, Deutschland	Syntac / IPS Empress 23 Onlays 73 Inlays	4 Jahre	Nach 4 Jahren mussten 7 von 96 Restaurationen ersetzt werden (7 %). 90 % waren in gutem Zustand.
<i>L. Pröbster</i> Universität Tübingen, Deutschland	Syntac / IPS Empress 254 Inlays 49 Onlays	4 Jahre	Die Kaplan-Meier-Überlebensrate beträgt nach 41 Monaten 94 +/- 0.7 %. 4 Frakturen traten ein.
<i>M. Fradeani</i> Louisiana State University USA <sup>44</sup>	Syntac / IPS Empress 144 Kronen	3 Jahre	Die Kaplan-Meier-Überlebensrate nach fast 6 Jahren beträgt 95.35 %. Es traten 5 Frakturen auf, wobei in zwei Fällen die Minimalwandstärke nicht beachtet wurde.
<i>R. Mazer</i> University of Alabama USA <sup>45</sup>	Syntac / Helio Progress 50 direkte Klasse-V- Füllungen	3 Jahre	Beurteilung nach der Behandlung und nach 3 und 6 Monaten sowie 1, 2 und 3 Jahren gemäss USPHS-Kriterien. 100 % intakt, 7 % zeigten Undichtigkeit, 90 % zeigten keine Randverfärbungen, keinerlei Irritationen
<i>C. Loher</i> Universität München, Deutschland	Syntac / Tetric 33 direkte Klasse-V- Füllungen	3 Jahre	Klinische Bewertung nach 8, 15, 24 und 36 Monaten. 93 % mit $\alpha$ und $\beta$ Bewertungen. Herausragende Resultate im Vergleich zu GIC-Füllungen und Dyract (83.3 %).
<i>J. Lasfargue</i> Universität von Paris, Frankreich <sup>48</sup>	Syntac / Tetric 30 direkte Klasse-I- Füllungen 42 direkte Klasse-II- Füllungen	1 Jahr	Bewertung nach USPHS-Kriterien, Röntgenbildern und indirekten Replikas: 100 % in situ, kein Verlust keine Fraktur, mehrheitlich $\alpha$ -Bewertung. Durchschnittlicher okklusaler Verlust der Replikas: $\leq 25 \mu\text{m}$ .

Tabelle 3: Übersicht über klinische Studien über direkte und indirekte Restaurationen mit Syntac: Von Ivoclar Vivadent initiiert 1992-1998

## 8.2 Interne kontrollierte klinische Studien

Kürzlich wurden bei Ivoclar Vivadent zwei interne Studien mit den Composites Tetric EvoCeram und IPS Empress Direct durchgeführt. In beiden Studien wurde Syntac als Haftvermittler verwendet:

### 8.2.1 Dr. Arnd Peschke, F&E-Klinik, Ivoclar Vivadent AG, Schaan, Liechtenstein. Klinische Bewertung von Nano Hybrid-Composite-Restaurationen für den Seitenzahnbereich über 5 Jahre

**Hintergrund:** In dieser prospektiven klinischen Untersuchung wurden Mitarbeiter von Ivoclar Vivadent AG, die Klasse-I- oder Klasse-II-Füllungen benötigten, zur Teilnahme an einer klinischen Studie mit dem Nano Hybrid-Composite Tetric EvoCeram rekrutiert. Insgesamt wurden 50 Klasse-I- und Klasse-II-Kavitäten mit Syntac und Tetric EvoCeram behandelt. Das Material wurde mit dem Pulse-Programm des Polymerisationsgeräts Astralis 10 polymerisiert, und die Restaurationen wurden mit Astropol poliert. Die Füllungen wurden gemäss ausgewählten FDI-Kriterien bewertet.

**Stand:** Die Nachuntersuchungen erfolgten nach 6 Monaten, 1, 2 und 5 Jahren. Nach 5 Jahren konnten 34 Restaurationen auf ihre klinischen Eigenschaften untersucht werden und wurden wie folgt bewertet: 1=A „ausgezeichnet“, 2=A2 „gut“ (nach Korrektur „sehr gut“), 3=B „befriedigend“, 4=C „unbefriedigend“ (aber reparierbar) und 5=D „schlecht“ (Ersatz notwendig). Drei Fälle schieden auf Grund einer Veränderung in der Behandlungsplanung aus, und die anderen Ausgeschiedenen sind weggezogen.

**Ergebnisse:** Nach 5 Jahren war die Überlebensrate 100 %, d.h. 100 % der untersuchten Restaurationen waren noch in situ; nur 1 Füllung (3 %) musste auf Grund einer geringfügigen Materialfraktur repariert werden. 38 % aller Restaurationen wurden als klinisch „sehr gut“ bis „gut“ bewertet und 59 % waren in einem klinisch „befriedigenden“ Zustand, d.h. 97 % wurden mit „befriedigend“ oder besser bewertet. Nach der Untersuchung nach 6 Monaten wurde keine postoperative Sensibilität mehr festgestellt.<sup>49</sup>

Tetric EvoCeram	Baseline	6 Monate	1 Jahr	2 Jahre	5 Jahre <sup>4</sup>
Anzahl	50	50	49	45	34
Restaurationsbruch	100 %A	100 %A	100 %A	100 %A	97 %A, 3 %C
Randunregelmässigkeiten	100 %A	82 %A, 18 %B <sup>1)</sup>	84 %A, 16 %B <sup>1)</sup>	84 %A, 16 %B	53 %A, 26 %A2 <sup>2)</sup> , 21 %B <sup>2)</sup>
Randverfärbungen	100 %A	92 %A, 8 %B <sup>1)</sup>	88 %A, 12 %B <sup>1)</sup>	82 %A, 18 %B	46 %A, 12 %A2 <sup>2)</sup> , 42 %B <sup>2)</sup>
Randspalten	100 %A	100 %A	98 %A, 2 %B	98 %A, 2 %B	88 %A, 9 %A2 <sup>1)</sup> , 3 %B <sup>1)</sup>
Unterschuss	100 %A	98 %A, 2 %B	100 %A	100 %A	100 %A
Oberflächenbeschaffenheit	100 %A	84 %A, 16 %B <sup>3)</sup>	88 %A, 12 %B <sup>3)</sup>	87 %A, 13 %B	15 %A, 50 %A2, 35 %B
Sekundärkaries	100 %A	100 %A	100 %A	100 %A	100 %A
Postoperative Sensibilitäten	97 %A, 3 %B	100 %A	100 %A	100 %A	100 %A
Überlebensrate	100 %A	100 %A	100 %A	100 %	100 %

Tabelle 4: Klinische Eigenschaften von Tetric EvoCeram/Syntac-Restaurationen nach 5 Jahren

1) Maximal 10 % der Länge der Restaurationsränder waren betroffen.

2) Maximal 25% der Länge der Restaurationsränder waren betroffen.

3) Nur kleine Bereiche innerhalb der Okklusionskontakte waren betroffen.

4) Für die Nachuntersuchung nach 5 Jahren wurden FDI-Kriterien angewendet; A=klinisch sehr gut, A2=klinisch gut, B=klinisch befriedigend, C=klinisch unbefriedigend, aber reparierbar und D=klinischer Misserfolg.

**Schlussfolgerung:** Nach einem Beobachtungszeitraum von 5 Jahren waren alle untersuchten Restaurationen noch in situ, und es wurde kein absolutes Versagen beobachtet. Nur eine Restauration benötigte eine geringfügige Reparatur auf Grund von Abplatzungen. Dokumentierte Randmängel betrafen nur einen kleinen Anteil der Gesamtrandlänge. Die Kombination von Tetric EvoCeram und Syntac zeigte eine sehr verlässliche klinische Effizienz nach fünf Jahren in Seitenzahnrestaurationen sowie eine hervorragende Randqualität.

8.2.2 *Dr. Arnd Peschke, Dr. Lukas Enggist. F&E-Klinik, Ivoclar Vivadent AG, Schaan, Liechtenstein. Bewertung von Klasse-I- bis Klasse-V-Kavitäten restauriert mit IPS Empress Direct/Syntac*

**Hintergrund:** Das klinische Verhalten von 60 IPS Empress Direct-Restaurationen (Klasse I-V), die mit dem Adhäsivsystem Syntac eingesetzt wurden, wurde beobachtet. Der Zweck dieser Studie war die Bewertung der klinischen Effizienz von IPS Empress Direct in Bezug auf Sicherheit, Funktion und biologische Aspekte. Alle Restaurationen wurden unter Kofferdam-Isolierung eingesetzt.

Kavitätenklasse	Anzahl Füllungen	Gültiger Prozentsatz
I	7	11,7 %
II	13	21,7 %
III	14	23,3 %
IV	8	13,3 %
V	18	30,0 %
Total:	60	100 %

Tabelle 5: Anzahl der IPS Empress Direct/Syntac-Restaurationen in jeder Kavitätenklasse

**Stand:** Die kompletten Daten nach 24 Monaten liegen vor. Von den ursprünglich 60 Restaurationen konnten 57 bewertet werden. Ein Patient mit 2 Restaurationen nahm den Nachfolgetermin nach 2 Jahren nicht wahr und eine Füllung der Klasse V versagte in den ersten 6 Monaten auf Grund von Retentionsverlust.

**Ergebnisse:** Die Bewertung der Füllungsqualität wurde gemäss den von Hickel et al. 2007 veröffentlichten Kriterien vorgenommen.<sup>50</sup> Danach steht  $\alpha$  für „klinisch hervorragend/sehr gut“,  $\alpha_2$  für „klinisch gut“,  $\beta$  für „klinisch ausreichend/befriedigend“,  $\gamma$  für „klinisch unbefriedigend“ und  $\delta$  für „klinisch unzureichend“.

Die Kriterien in Bezug auf Randdichtigkeit wurden semi-quantitativ bewertet gemäss dem Anteil betroffener Ränder an der gesamten Randlänge (SQUACE).

Anteil	Bewertungs-Kriterien	Klassifizierung	Klasse I-V gesamt (SD)	Klasse I und II (SD)	Klasse III und IV (SD)	Klasse V (SD)
% aller Restaurationen	Untersuchte Restaurationen (24 Monate)	-	95	90	100	94,4
	Überlebensrate	-	98,3	100	100	94,4
	Materialbruch / Retention	$\alpha$	93,1	94,4	90,9	94,4
		$\alpha 2$	0	0	0	0
		$\beta$	5,2	5,6	9,1	0
		$\gamma$	0	0	0	0
		$\delta$	1,7	0	0	5,6
	Sekundärkaries	$\alpha$	100	100	100	100
		$\alpha 2-\delta$	0	0	0	0
	Postoperative Sensibilitäten	$\alpha$	100	100	100	100
		$\alpha 2-\delta$	0	0	0	0
% der Ränder *	Randunregel- mässigkeiten	$\alpha$	97,2 ( $\pm 5,3$ )	96,7 ( $\pm 5,4$ )	97 ( $\pm 5,7$ )	98 ( $\pm 4,7$ )
		$\alpha 2$	2,8 ( $\pm 5,3$ )	3,3 ( $\pm 5,4$ )	3,0 ( $\pm 5,7$ )	2,0 ( $\pm 4,7$ )
		$\beta-\delta$	0	0	0	0
	Randverfärbung	$\alpha$	99,5 ( $\pm 2,8$ )	98,3 ( $\pm 4,6$ )	99,8 ( $\pm 1,2$ )	98,8 ( $\pm 4,9$ )
		$\alpha 2$	0,5 ( $\pm 2,8$ )	0,3 ( $\pm 1,2$ )	0,2 ( $\pm 1$ )	1,2 ( $\pm 4,9$ )
		$\beta-\delta$	0	0	0	0
	Randspalten	$\alpha$	100	100	100	100
		$\alpha 2-\delta$	0	0	0	0
	Fehlen von Füllungsmaterial	A	100	100	100	100
		$\alpha 2-\delta$	0	0	0	0
	Randfraktur	A	100	100	100	100
		$\alpha 2-\delta$	0	0	0	0

Tabelle 6: Bewertung und Klassifizierung von Restaurationen gemäss den Kriterien von Hickel.

\*Mittelwert des Gesamtrandes aller nachuntersuchten Restaurationen.

**Schlussfolgerung:** Abgesehen vom Verlust einer Klasse-V-Füllung wurden keine anderen klinisch inakzeptablen Bewertungen ausgesprochen. Die Randqualität der Füllungen insgesamt war sehr gut, und 100 % der Restaurationen wurden mit  $\alpha$  oder  $\alpha 2$ , d.h. klinisch sehr gut oder klinisch gut, bewertet. Es wurden nur geringe Randunregelmässigkeiten und Randverfärbungen festgestellt, die weniger als 5 % der Gesamtrandlänge aller Restaurationen betrafen. Es trat keine postoperativen Sensibilitäten auf. Nach 24 Monaten haben sich mit Syntac eingesetzte Restaurationen aus IPS Empress Direct als sehr verlässlich erwiesen.

### 8.3 *Literatrecherche: Direkte Restaurationen mit Syntac*

Im Gegensatz zu dentalen Composites zeigen dentale Adhäsive noch immer beträchtliche Unterschiede in der Leistungsfähigkeit. Dies wird eindrücklich durch eine kürzlich vorgenommene Rezension von klinischen Untersuchungen von Seitenzahnrestorationen<sup>51</sup> und Adhäsiven gezeigt.<sup>39</sup> Seitenzahnrestorationen aus modernen Compositematerialien zeigen meist eine jährliche Ausfallrate von weniger als 3 %.<sup>51</sup> Im Gegensatz dazu variieren die jährlichen Ausfallraten von adhäsiven Restaurationen in nicht-kariösen Klasse-V-Läsionen, wo Mikro- und Makroretention auf ein Minimum beschränkt sind und die Qualität des Verbundes vorrangig ist, zwischen 0 und 48 %. Ausserdem neigen selbstätzende Ein-Schrittadhäsive (All-in-one) zu signifikant höheren Ausfallraten als Mehrkomponenten-, Zweischritt-Total-Etch- und selbstätzende Zweischritt-Adhäsive.<sup>52</sup> Die Wahl eines klinisch bewährten Adhäsivs durch den Zahnarzt kann deshalb erheblich zum Erfolg einer Restauration beitragen.

Eine Recherche in der Dentalliteratur ergab positive Argumente für die Anwendung von Syntac für direkte und indirekte klinische Situationen.

#### 8.3.1 *Klasse-I- und Klasse-II- Restaurationen*

Krämer et al. (2011) führten eine kontrollierte, prospektive Split-Mouth-Studie über 6 Jahre durch, um das klinische Verhalten von zwei verschiedenen Kunststoff-Composites in ausgedehnten Klasse-II-Kavitäten zu bewerten.<sup>53</sup> Bei 30 Patienten wurden 68 direkte Kunststoff-Composite-Füllungen aus Solobond M + Grandio/Voco (n=36) oder Syntac + Tetric Ceram (n=32) gelegt. Die Restaurationen wurden auf der Basis von modifizierten USPHS-Kriterien nach 6 Monaten, 1 Jahr, 2, 4 und 6 Jahren untersucht. Die Überlebensrate für alle Restauration war 100 % nach 6 Jahren; Hypersensibilität wurde mit der Zeit signifikant reduziert, und es wurden zwischen den beiden Restaurationssystemen keine signifikanten Unterschiede gefunden.<sup>53,54</sup>

Schirrmeister et al. untersuchten das klinische Verhalten von Ceram X + einem experimentellen Einflaschen-Etch-and-Rinse-Adhäsiv (K-0127) im Vergleich zu Tetric Ceram + Syntac als Kontrollgruppe. Diese prospektive Studie dauerte 4 Jahre mit Untersuchungen bei Baseline sowie nach 1, 2 und 4 Jahren. 43 Patienten erhielten zwei (Ceram X/K-0127 und Tetric Ceram/Syntac) Klasse-I- oder Klasse-II-Molarenrestorationen. Bei der Nachuntersuchung nach 4 Jahren konnten 27 Patienten untersucht werden. Die kumulative Ausfallrate für die Ceram X-Gruppe war 7,4 % und 3,7 % für die Tetric Ceram-Gruppe. Leichte Randverfärbungen wurden in 19,2 % der Ceram X-Restaurationen und in 15,4 % der Tetric Ceram-Restaurationen gefunden. Nach vier Jahren wurde keine Sensibilität, Sekundärkaries oder Veränderung der Oberflächentextur beobachtet und es wurden keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Restaurationssystemen gefunden ( $p > 0.05$ ).<sup>36</sup>

Manhart et al. verglichen Quixfil und das selbstätzende Adhäsiv Xeno III/Dentsply (n= 46) mit Tetric und Syntac als Kontrollgruppe (n=50) in einer randomisierten, kontrollierten Langzeitstudie über 4 Jahre. Die Füllungen wurden in okklusionstragenden Klasse-I- und Klasse-II-Kavitäten in ersten oder zweiten Molaren gelegt. Die klinische Bewertung fand bei Baseline und nach 4 Jahren mittels modifizierten USPHS-Kriterien statt. Bei der letzten Nachuntersuchung konnten 37 Quixfil und 46 Tetric Ceram-Restaurationen bewertet werden. Insgesamt wurden 89,2 % der Quixfil und 97,8 % der Tetric Ceram-Füllungen als klinisch ausgezeichnet oder einwandfrei bewertet. Vier Quixfil-Restaurationen versagten auf Grund von Bulkfrakturen, Teilfrakturen der Zähne (n=2) oder postoperativen Symptomen. Eine Tetric Ceram-Restauration ging bedingt durch Probleme mit der Zahnintegrität verloren. Zwischen den beiden Composites konnten nach 4 Jahren keine signifikanten Unterschiede für irgendeines der untersuchten klinischen Kriterien festgestellt werden. Beide Materialkombinationen zeigten nach vier Jahren gute klinische Resultate.<sup>55</sup>

### 8.3.2 Klasse-V-Restaurationen

Nicht-kariöse Klasse-V-Kavitäten können als ideal für die Bewertung der klinischen Effizienz von Adhäsiven betrachtet werden, da sie wenig makro-mechanische Retention bieten, mindestens 50 % Verbund zu Dentin beinhalten und weit verbreitet und gut erreichbar sind.<sup>39</sup>

Van Dijken et al. untersuchten die klinische Langzeitretention auf Dentin von sechs verschiedenen Adhäsivsystemen. Die Studie dauerte 13 Jahre und die Effizienz des Verbundes wurde anhand des Anteils an verlorenen Restaurationen bestimmt. Die Restaurationen wurden bei Baseline, nach 6, 12, 18 und 24 Monaten untersucht, danach mindestens einmal pro Jahr über 13 Jahre in Bezug auf Retention, Randadaptation, Farbanpassung, Sekundärkaries und Oberflächenrauigkeit. Von den ursprünglichen 270 Restaurationen konnten nach 13 Jahren 215 bewertet werden. Zwischen den Systemen konnten signifikante Unterschiede in den Verlusten beobachtet werden. Das untenstehende Diagramm zeigt die jährlichen Ausfallraten für die verschiedenen Adhäsivsysteme. Vitremer und Syntac zeigten die höchsten Retentionsraten, d.h. die niedrigsten Ausfallraten, und Syntac führte die Rangliste in Bezug auf klinische Effizienz an.<sup>56</sup>

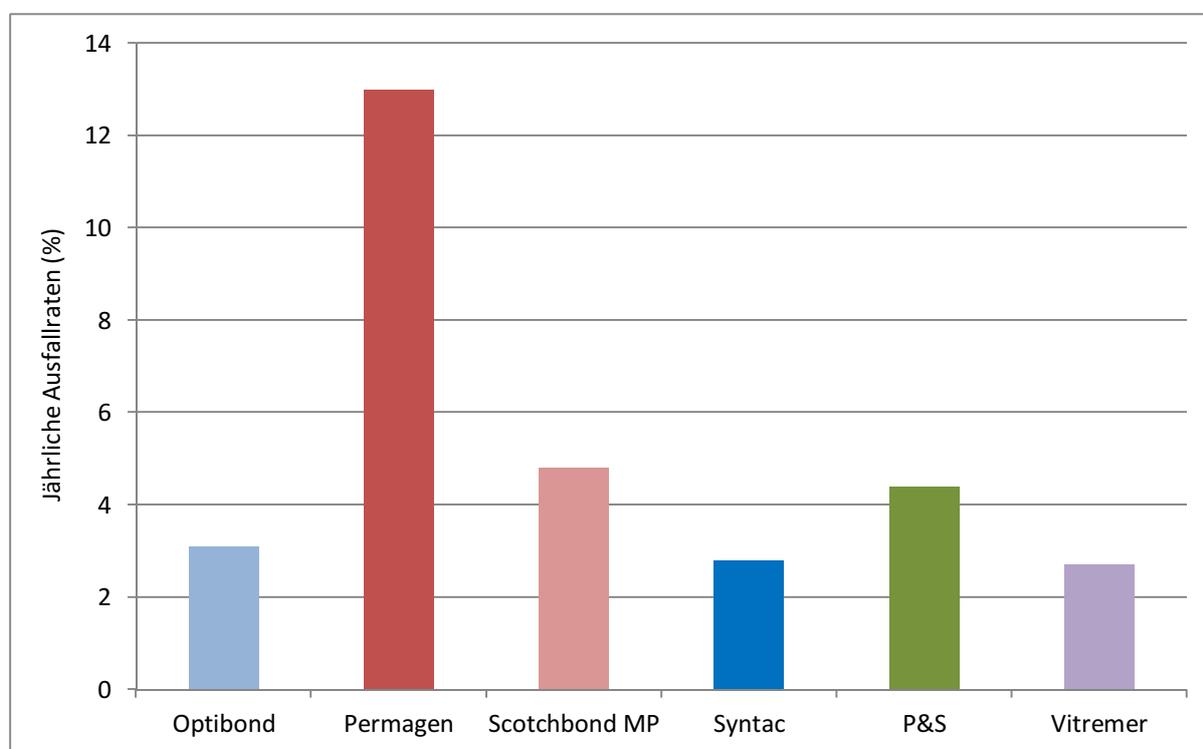


Abb. 12: Jährliche Ausfallraten von sechs verschiedenen Adhäsivsystemen. Van Dijken et al. 2008<sup>56</sup>

Wie in Abb. 12 gezeigt, waren die Ausfallraten für die Etch-and-Rinse-Systeme Optibond/Kerr 3,1 %, Permagen/Ultradent 13,0 %, Scotchbond MP/3M ESPE 4,8 %, Syntac 2,8 %, für das selbststützende System P&S/Dentsply 4,4 % und für den Hybrid-Zement Vitremer/3M ESPE 2,7 %. Der kumulative Gesamtverlust nach 13 Jahren war 53 %. Syntac hatte mit ca. 36 % eine der niedrigsten kumulativen Verlusten.

In einer Studie von Mazer et al. betrug die Überlebensrate von direkten Restaurationen von abfraktierten (nicht-kariösen zervikalen) Läsionen mit Syntac 100 % nach 3 Jahren.<sup>57</sup>

Folwaczny verglich vier verschiedene zahnfarbene Materialien für die Restauration von Klasse-V-Läsionen: Das Composite Tetric kombiniert mit Syntac, das Compomer Dyract kombiniert mit PSA/Dentsply und die kunststoffmodifizierten Glasionomer-Zemente Fuji II LC/GC und Photac Fil/ESPE. Die Alpha-Bewertungen für die Tetric/Syntac-Gruppe waren in fast allen Fällen den anderen Gruppen überlegen, d.h. in Bezug auf Farbübereinstimmung,

Randintegrität in Schmelz und Dentin, Randverfärbungen und anatomische Form. Die schlechtesten Resultate wurden für die Glasionomere beobachtet und die beste klinische Effizienz zeigte Tetric/Syntac; es wurde jedoch kein signifikanter Unterschied in der Retention der vier Materialien festgestellt.<sup>58</sup>

Peumans et al. verglichen in einem Literaturreview der Jahre 1998-2004 die durchschnittlichen jährlichen Ausfallraten (Verlust der Restauration) von verschiedenen Adhäsivtypen in Klasse-V-Restaurationen. Glasionomere zeigten das beste klinische Verhalten in Bezug auf Retention auf Grund ihrer selbst-adhäsiven Eigenschaften. Ihre ästhetischen Defizite sind jedoch hinlänglich bekannt.<sup>29,39</sup> Die Dreischritt-Etch-and-Rinse-Adhäsive und die selbststützenden Zweischritt-Adhäsive zeigten fast identisch tiefe Ausfallraten, d.h. beide zeigten ein klinisch sicheres und vorhersagbar gutes klinisches Verhalten. Die klinische Effizienz von Zweischritt-Total-Etch-Adhäsiven war weniger günstig, während für die selbststützenden Einschritt-Adhäsive (All-in-One) ein ineffizientes klinisches Verhalten festgestellt wurde.<sup>39</sup>

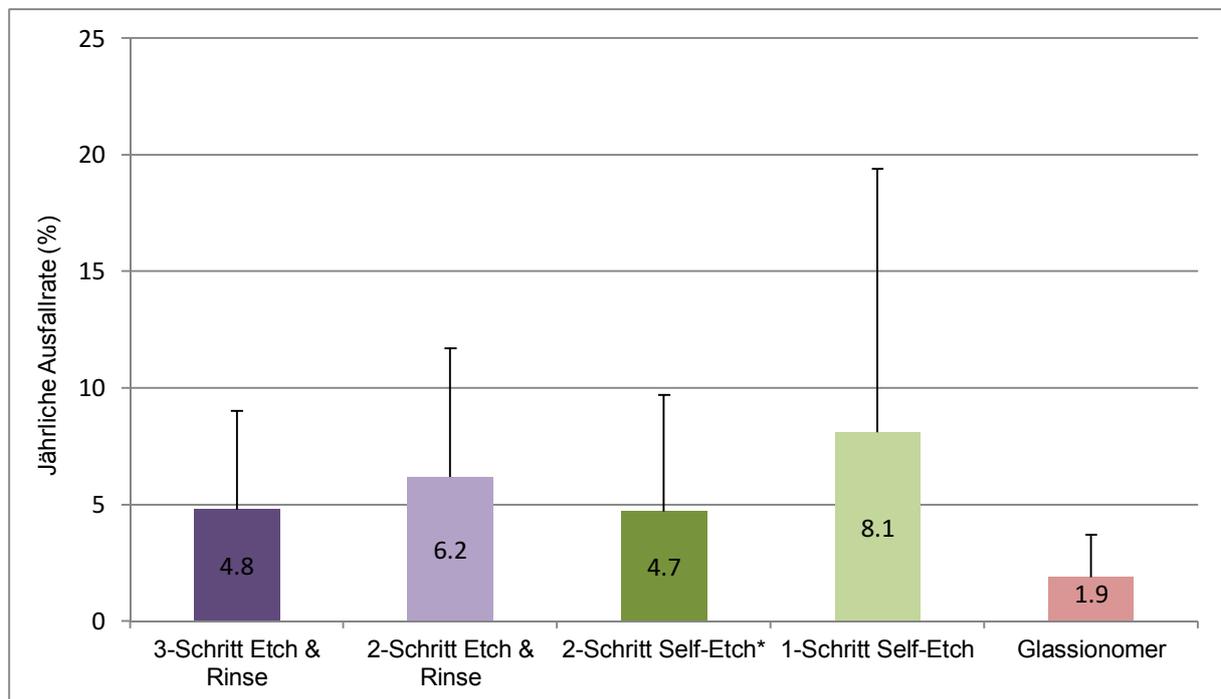


Abb. 13: Durchschnittliche jährliche Ausfallrate pro Adhäsivkategorie. *Peumans et al. 2005*<sup>39</sup>  
\* Syntac wurde dieser Kategorie zugeordnet.

Die Resultate für die selbststützenden Zweischritt-Adhäsive sind ähnlich wie jene für die Dreischritt-Etch-and-Rinse-Adhäsive. Das mutet anfänglich überraschend an, kann jedoch mit dem ungewöhnlichen Klassifizierungssystem dieses Artikels erklärt werden. Wie erwähnt, ist die Klassifizierung von Adhäsiven nicht einheitlich, und in dieser Studie wurde Syntac als „selbststützendes“ Zweischritt-Adhäsiv betrachtet, während es üblicherweise als Dreischritt- oder Mehrschritt-Total-Etch-/Etch-and-Rinse-Adhäsiv klassifiziert wird. Die Autoren kamen zu dem Schluss, dass trotz des Trends zur Vereinfachung im Anwendungsprotokoll für Adhäsive Vereinfachungen bis jetzt jeweils mit einer verminderten Effizienz einhergehen.<sup>39</sup>

Heintze et al. führten jüngst (2010) eine Meta-Analyse über das klinische Verhalten von zervikalen Restaurationen durch, um die wichtigsten Faktoren, die Retentionsverlust und Randverfärbung beeinflussen, zu bewerten. Sie stellten fest, dass das klinische Verhalten von zervikalen Restaurationen signifikant von der Art des verwendeten Adhäsivsystems und/oder der Adhäsivklasse, zu der das System gehört, beeinflusst wird. Daraus wurde geschlossen, dass Dreischritt-Etch-and-Rinse- und selbststützende Zweischritt-Systeme den selbststützenden Einschritt-Systemen oder Glasionomer-Derivaten vorzuziehen sind.<sup>59</sup>

## **8.4 Literaturrecherche: Indirekte Restaurationen mit Syntac**

### **8.4.1 Inlays/Onlays**

Überlebensraten von 92 % nach 8 Jahren für IPS Empress Inlays eingesetzt mit Syntac und den verschiedenen Compositesystemen: Tetric, Dual Cement, Variolink und Variolink Ultra wurden durch Krämer et al. im Jahr 2002 untersucht.<sup>60,61</sup> Nach einer Tragedauer von 12 Jahren zeigten die Restaurationen eine Überlebensrate von 84 %. Fünfzehn der ursprünglich 96 Restaurationen mussten ersetzt werden, davon 12 auf Grund von Bulkfrakturen. Es wurden signifikant mehr Bulkfrakturen festgestellt, wenn lichthärtende Befestigungscomposites verwendet wurden im Gegensatz zu dualhärtenden Zementen. Es wurde keine Sekundärkaries beobachtet.<sup>62</sup>

In einer späteren Studie führten Krämer et al. eine prospektive klinische Split-Mouth-Untersuchung mit 94 IPS Empress Inlays/Onlays in 31 Patienten durch. Die Restaurationen wurden entweder mit EBS Multi + Compolute/3M ESPE oder Syntac + Variolink II eingesetzt (selektive Ätzung). Die Untersuchungen wurden bei Baseline, nach 6 Monaten sowie nach 1, 2, 4 und 8 Jahren durchgeführt. Die Recall-Rate nach acht Jahren war 72 %. Die Überlebensrate nach Kaplan Meier war 96 % nach 6 Jahren und 90 % nach 8 Jahren. Bei den sechs Nachuntersuchungen wurde eine statistisch signifikante Verschlechterung der Randadaption festgestellt. Obwohl nicht signifikant zeigte die EBS Multi-Gruppe ein numerisch höheres Auftreten von postoperativer Sensibilität, und die Scans des Zementspalts zeigten, dass Compolute eher zu Verschleiss neigte ( $p < 0.05$ ). Ansonsten wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen den Befestigungssystemen festgestellt.<sup>33,34</sup>

In einem prospektiven Vergleich des klinischen Verhaltens von zwei verschiedenen Befestigungscomposites für die Befestigung von IPS Empress Inlays und Onlays wurden 30 Patienten 83 IPS Empress-Restaurationen eingesetzt. Für 43 wurde der selbstadhäsiver Composite-Befestigungszement RelyX Unicem/3M ESPE verwendet und für 40 Syntac und Variolink II als Kontrollgruppe. Nach einer Liegedauer von 1 Jahr zeigte die Syntac-Gruppe signifikant bessere Resultate in Bezug auf Farbanpassung und Integrität.<sup>35</sup>

Coelho Santos et al. verglichen gesinterte (Duceram/Dentsply-Degussa) und gepresste (IPS Empress) Keramikinlays und -onlays, die mit Syntac und Variolink II befestigt wurden. Nach zwei Jahren zeigten beide Systeme eine ausgezeichnete klinische Effizienz. 100 % der Restaurationen wurden als klinisch ausgezeichnet oder einwandfrei bewertet.<sup>63</sup>

### **CAD/CAM-Inlays/-Onlays**

Bernhart et al. berichteten von einer Überlebensrate von 95 % nach 3 Jahren für mit Syntac und Dual Cement befestigte Cerec-Keramikinlays. Die Restaurationen wurden von Zahnmedizinstudenten im 4. Semester hergestellt und zwar nach einer kurzen theoretischen und praktischen Einführung in die Cerec-Methode. Gute klinische Resultate waren trotz der beschränkten Erfahrung der Behandler möglich, was darauf hindeutet, dass Syntac eine geringe Techniksensibilität zeigt.<sup>64</sup>

Zimmer et al. führten über 10 Jahre eine Studie an Klasse-I- und Klasse-II- (Inlays und Onlays)-CAD/CAM-Keramikrestaurationen durch, die mit Syntac und Vita Cerec Duo Cement/VITA adhäsiv befestigt wurden. Ursprünglich wurden zwischen 1992 und 1994 308 Restaurationen in Seitenzahnkavitäten von 95 Patienten eingesetzt. 74 Patienten erschienen zur Nachuntersuchung nach 10 Jahren, was 226 Restaurationen entsprach. Von diesen waren 39 Klasse-I- und 187 Klasse-II-Restaurationen (23 Onlays mit einem oder mehreren Höckern und 174 Inlays). Es wurde eine Kaplan-Meier-Überlebensanalyse durchgeführt, wobei die folgenden Kriterien einen Misserfolg darstellten: Sekundärkaries, jegliche Art von Verlust oder Fraktur der Restauration, Zahnfraktur oder Randspalten, die bis zum Dentin oder Basismaterial reichen. Die Überlebensrate war 94,7 % nach 5 Jahren und 85,7 % nach

10 Jahren. Die Autoren schlossen, dass die Cerec-1-Restaurationen, wie sie in der Studie verwendet wurden, mit gegossenen Goldrestaurationen vergleichbar waren.<sup>65</sup>

Reich et al. führten eine über 3 Jahre dauernde Pilotstudie durch, in der 58 grosse CAD/CAM-hergestellte Vollkeramikrestaurationen in Zähne mit grossen koronalen Defekten von 26 Patienten eingegliedert wurden. Je nach Bedarf umfassten die Restaurationen Onlays, reduzierte Kronen, klassische Kronen, Endo-Kronen und Verblendungen. Implantatkronen waren auch Teil der Untersuchung. Die Restaurationen wurden mit Syntac und entweder Variolink Ultra oder Tetric Ceram befestigt. Nach 3 Jahren wurden die Restaurationen gemäss USPHS-Kriterien beurteilt, und 97 % wurden in Bezug auf Randintegrität, Sekundärkaries, Verfärbung und anatomische Form mit „Bravo“ (befriedigend) oder besser bewertet, d.h. alle ausser 2 der adhäsiv befestigten Restaurationen zeigten ein befriedigendes klinisches Verhalten. Diese Resultate wurden als ungewöhnlich positiv gewertet, wenn man den schlechten Zustand der Zähne in dieser Studie bedenkt, der schwerwiegende koronale Zerstörung umfasste.<sup>66</sup>

Syntac beweist klar seine Eignung für die erfolgreiche Langzeitbefestigung von indirekten CAD/CAM-Keramikrestaurationen.

#### 8.4.2 Kronen

Guess et al. berichteten von Überlebensraten von 100 % nach drei Jahren für alle mit Syntac/Tetric befestigten Keramikronen aus IPS e.max Press. Die Studie wurde angelegt, um das klinische Verhalten und das Überleben von IPS e.max Press und CAD/CAM-hergestellten ProCAD-Kronen zu vergleichen. 80 Molaren von 25 Patienten, die mindestens 2 neue Kronen benötigten, wurden in einer prospektiven Split-Mouth-Studie behandelt. Alle Kronen wurden mit Syntac/Tetric befestigt. Die klinische Bewertung wurde bei Baseline sowie nach 13, 25 und 36 Monaten gemäss modifizierten USPHS-Kriterien durchgeführt. Dies sind die Halbzeitresultate (nach 3 Jahren) einer Studie über 5 Jahre, und sie zeigten eine Überlebensrate von 100 % für Kronen aus IPS e.max Press und 97 % für ProCAD auf Grund einer schwerwiegenden Fraktur nach 9 Monaten. Es traten keine endodontischen Komplikationen oder Fälle von Sekundärkaries auf. Beide Materialien zeigten jedoch mit der Zeit signifikant verringerte Randadaption, Verfärbungen und Oberflächenrauigkeit. Beide Materialien können als verlässliche Behandlungsoptionen für die Restauration von grösseren Defekten im Seitenzahnbereich betrachtet werden. Syntac hat sich als verlässlicher Haftvermittler erwiesen.<sup>67</sup>

Eine Studie über 11 Jahre von Fradeani et al. untersuchte 125 IPS Empress-Kronen bei 54 Patienten, die mit Hilfe von Syntac oder Allbond 2/Bisco als Haftvermittler und Dual Cement oder Variolink befestigt wurden. Nach 11 Jahren wurde eine Überlebensrate für alle Kronen von 95,5 % bestimmt, wobei Frontzahnkronen (98,9 %) besser abschnitten als Seitenzahnkronen (84,4 %). Es ist in diesem Artikel jedoch nicht möglich zu bestimmen, welche Kronen mit welchem Haftvermittler/Befestigungsmaterial eingesetzt wurden.<sup>68</sup>

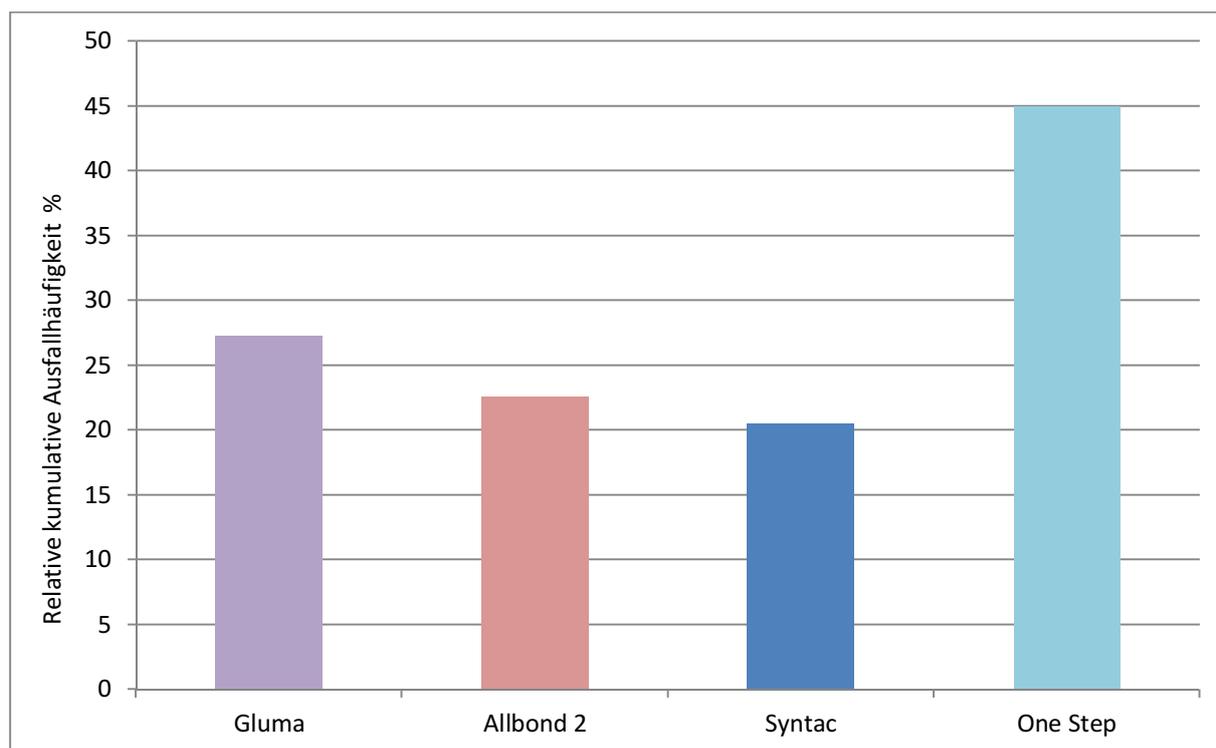
Van Dijken et al. beendeten kürzlich eine 15 Jahre dauernde prospektive Studie zur Bestimmung der Überlebensfähigkeit von heissgepressten Vollkeramikrestaurationen (IPS Empress).<sup>69</sup> Die Restaurationen wurden vier verschiedenen Gruppen zugeordnet. Gruppe 1 – Inlays, Gruppe 2 – Onlays, Gruppe 3 – Kronen, Gruppe 4 – nicht-retentive, endodontisch behandelte Zähne. 252 IPS Empress-Restaurationen wurden 121 Patienten eingesetzt, wie in Tabelle 7 aufgeführt.

Keramikverblendung	IPS Empress* (n=252)				
Anzahl Restaurationen	n= 106	n=37	n=57	n=32	n=20
Adhäsiv	Syntac*	Gluma**	Allbond 2***	Syntac*	One Step***
Befestigungsmaterial	Variolink*	Bisfil 2B***			

Tabelle 7: Adhäsive/Befestigungsgruppen mit IPS Empress.

\* Ivoclar Vivadent, \*\* Hereaeus Kulzer, \*\*\* Bisco

In der Studie sollten zwei Hypothesen getestet werden: Es gibt keinen Unterschied in der Dauerhaftigkeit von Keramikrestaurationen, die mit verschiedenen Haftvermittlern und Befestigungsmaterialien befestigt wurden, und es gibt keinen Unterschied in der Dauerhaftigkeit zwischen vitalen und devitalen Zähnen. Jede Restauration wurde zu Beginn und dann jährlich nach modifizierten USPHS-Kriterien bewertet. Nach 15 Jahren konnten 228 (90 %) der Restaurationen bewertet werden. Von diesen haben 55 versagt (24,1 %) was zu einer Gesamtüberlebensrate von 75,9 % geführt hat. Die relative kumulative Ausfallhäufigkeit für die vier verschiedenen Verbundsysteme wurde ebenfalls bestimmt.

Abb. 14: Relative kumulative Ausfallhäufigkeit von verschiedenen Adhäsivsystemen. Van Dijken et al. 2010<sup>69</sup>

Gluma zeigte eine Ausfallhäufigkeit von 27,3 %, für Allbond 2 betrug diese 22,6 %, für Syntac 20,5 % und für One Step 45 %. Syntac zeigte also die niedrigsten kumulativen Ausfallraten, und One Step unterschied sich signifikant von Syntac ( $p=0.02$ ) und Allbond ( $p=0.0001$ ). Die Wahl des Verbundsystems beeinflusste also den Erfolg der Restaurationen signifikant. Systeme der 4. Generation, wie Syntac, liefern einen vorhersagbareren Langzeitverbund zu Schmelz und Dentin; Syntac erzielte die besten Resultate. Ausserdem zeigte sich bei Männern eine Ausfallhäufigkeit von 31,7 %, verglichen mit 19,9 % bei Frauen. Ein signifikanter Unterschied in der Ausfallrate wurde ebenfalls zwischen den vier

Präparationsgestaltungen festgestellt im Verhältnis zur Überlebensdauer. Dabei zeigten nicht-vitale Zähne die höchsten Ausfallraten.<sup>69,70</sup>

## 8.5 Syntac und postoperative Sensibilität

### 8.5.1 Einführung

Hypersensibilität von Dentin ist ein häufig auftretender Zustand, insbesondere nach dentalen Restaurationsarbeiten. Es ist allgemein anerkannt, dass Hypersensibilität auf Grund von Flüssigkeitsbewegungen innerhalb der Dentinkanälchen als Reaktion auf Reize wie Kälte, Wärme oder osmotisch aktive Substanzen wie Zucker auftritt.<sup>71</sup> Diese Flüssigkeitsbewegungen erzeugen eine Druckveränderung innerhalb des Dentins, die die intradentalen Nerven reizen kann. In vivo durchgeführte Studien haben gezeigt, dass die Reaktion der Pulpanerven proportional zum Druck und damit der Fließrate der Flüssigkeit erfolgt. Verschiedene Reize lösen Flüssigkeitsbewegungen innerhalb der Dentinkanälchen aus. Die nachfolgende Aktivierung der Pulpanerven führt dann zu Schmerzempfinden. Dieser Mechanismus wird in Abb. 15 aufgezeigt.

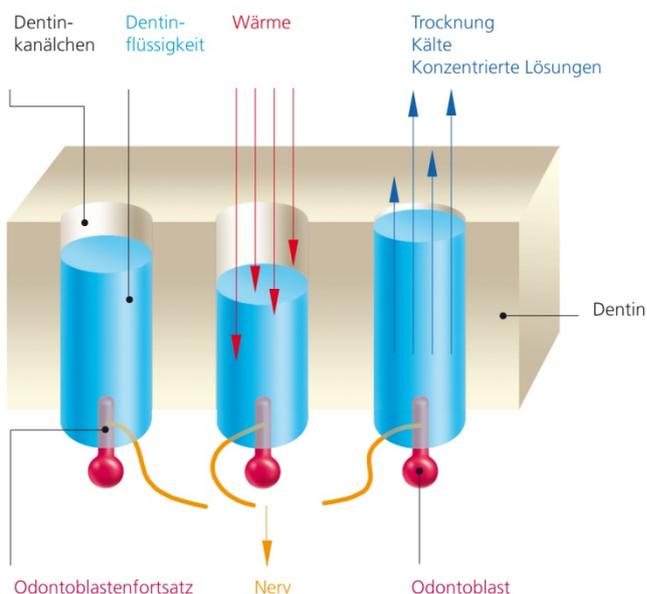


Abb. 15: Hydrodynamische Theorie nach Brännström<sup>71</sup>

In einer Übersicht über Adhäsivtechniken aus dem Jahre 2010 mit Daten aus ihren eigenen klinischen Studien und vor dem Hintergrund der vermeintlichen Überlegenheit von selbstätzenden Adhäsiven in Bezug auf postoperative Sensibilität fanden Frankenberger et al. tatsächlich kein erhöhtes Risiko für postoperative Sensibilität im Zusammenhang mit Etch-und-Rinse-Adhäsiven.<sup>28,34,62,72</sup> Perdigao et al. fanden in Nachuntersuchungen ebenfalls keine signifikanten Unterschiede in Bezug auf postoperative Sensibilität zwischen Patienten, die mit einem selbstätzenden Adhäsiv behandelt wurden, und jenen, bei denen ein Etch-and-Rinse-Adhäsiv verwendet wurde. Vielmehr schlossen sie, dass die Restaurationstechnik und nicht die Art des Dentinadhäsivs die postoperative Sensibilität beeinflussen kann.<sup>73</sup>

### 8.5.2 Klinische Befunde

Syntac ist bekannt für seine Fähigkeit, postoperative Sensibilität zu minimieren. Die Kombination von organischen Lösungsmitteln, Methacrylaten und Glutaraldehyd in Syntac ist in der Lage, das Risiko der Hypersensibilität zu verringern, da sie, wie in Abb. 15 schematisch dargestellt, die Dentinkanälchen versiegelt und damit die Flüssigkeitsbewegung verhindert. Das Aceton in Syntac Primer und das PEGDMA in Syntac Primer und Adhäsiv lösen Proteine und Kalziumionen aus der Dentinflüssigkeit. Das Glutaraldehyd in Syntac

Adhäsiv ist ein Kreuzvernetzer, der die Aminogruppen der Proteine binden kann. Es bildet kovalente Verbindungen zwischen zwei Proteinen, was zu stark kreuzvernetzten, unlöslichen Proteinaggregaten führt.<sup>74</sup> Es bilden sich feste Pfropfen aus Protein, welche die Kanäle versiegeln und die Durchlässigkeit und damit auch das Auftreten von Hypersensibilität verringern. In einer Studie der Überlebensraten von IPS Empress-Restaurationen über 4 Jahre fanden Pröbster et al. postoperative Sensibilität von weniger als 1 % bei insgesamt 254 mit Syntac befestigten IPS Empress-Restaurationen.<sup>30</sup>

Cox und O'Neal untersuchten die biologische und klinische Anwendung des Adhäsivsystems Syntac und Variolink für die Hybridisierung von vitalem Dentin zur Verhinderung von postoperativer Sensibilität und bakterieller Mikroundichtigkeit bei Patienten nach der klinischen Präparation. In der klinischen Forschungseinrichtung der Autoren zeigten Patienten, die sich vor der Behandlung mit Syntac und Tetric noch über präoperative Hypersensibilität beklagten, nach zwei Jahren keinerlei postoperative Hypersensibilität, was die Wirkung als Langzeitversiegelung unterstreicht.<sup>75</sup>

Eine klinische Pilotstudie von Monaco et al. untersuchte das klinische Verhalten von festsitzenden 3-gliedrigen Teilprothesen aus SR Adoro/Vectris, die mit Syntac oder Excite DSC befestigt wurden, über 2 Jahre. Dabei wurden 39 Erwachsene mit 39 Inlaybrücken versorgt. Die Bewertung erfolgte nach USPHS-Kriterien. Zwanzig Restaurationen wurden mit Syntac befestigt, 19 mit Excite DSC. Variolink II wurde als Befestigungsmaterial verwendet. Bei den Nachuntersuchungen wurden die Patienten zur Hypersensibilität befragt. Mässige bis schwerwiegende Hypersensibilität wurde während der ersten sechs Monate der Studie festgestellt. Bei der Nachuntersuchung nach 1 Woche erhielten 95 % eine Alpha ( $\alpha$ )-Bewertung für postoperative Sensibilität in der Syntac-Gruppe, verglichen mit 61 % in der Excite DSC-Gruppe. Bei der Nachuntersuchung nach 2 Jahren war die Bewertung 100 % für die Syntac-Gruppe, d.h. keinerlei Sensibilität, und 95 % für die Excite DSC-Gruppe.<sup>76</sup>

Falls postoperative Sensibilität auftritt, dann geschieht dies tendenziell unmittelbar, und die Symptome lassen dann nach oder klingen vollständig ab. Wenn nach der Restauration innerhalb einiger Monate keine Sensibilität auftritt, tritt sie wahrscheinlich überhaupt nicht auf. Wilson et al. fanden in einer Untersuchung über vier Jahre von mit Syntac befestigten Klasse-II-Tetric-Restaurationen ebenfalls keine postoperative Sensibilität nach 1 Monat, 18 Monaten sowie 2, 3 und 4 Jahren.<sup>77</sup> Schirrmeister et al. verglichen Restaurationen, für die Syntac plus Tetric Ceram oder Ceram X plus ein experimentelles Einflaschen-Etch-and-Rinse-Adhäsiv K-0127/Dentsply deTrey verwendet wurde. Die Restaurationen wurden bei Baseline sowie nach 1, 2 und 4 Jahren untersucht. Während 10 % der Patienten gleich nach der Behandlung leichte Symptome von postoperativer Sensibilität zeigten, wurde nach einem Jahr in keiner der Gruppen postoperative Sensibilität beobachtet.<sup>36</sup>

## **8.6 Zusammenfassung**

Syntac wird dem ausgezeichneten Ruf, den es seit 20 Jahren genießt, gerecht. Es beweist immer wieder seine Stellung als geeigneter und klinisch erfolgreicher Haftvermittler in einer Vielzahl von mittel- und langfristigen Studien an direkten und indirekten (CAD/CAM- oder konventionell gefertigten) Restaurationen für den Front- und Seitenzahnbereich. Die Überlebensraten von mit Syntac befestigten Restaurationen sind bemerkenswert hoch und einheitlich, was die geringe Techniksensibilität von Syntac bestätigt, obwohl es sich um ein 3-Flaschen-System handelt. Syntac ist der klassische Haftvermittler für einen einwandfreien chemischen Verbund zwischen Compositematerial und Zahnhartsubstanz.

## 9. Biokompatibilität

Es gibt diverse Definitionen von Biokompatibilität. Eine Definition lautet: „Die Fähigkeit eines Materials, seine Aufgabe mit einer angemessenen Reaktion in einer bestimmten Anwendung auszuführen.“<sup>78</sup>

### 9.1 Einführung

Syntac besteht aus einem Primer, einem Adhäsiv und einem Haftvermittler. Es stellt einen chemisch stabilen Verbund zum Compositematerial und dem dentalen Substrat her. Das Material enthält:

**Syntac Primer**            TEGDMA, PEGDMA, Maleinsäure, Aceton in einer wässrigen Lösung

**Syntac Adhäsiv:**        PEGDMA, Glutaraldehyd in einer wässrigen Lösung

**Heliobond:**              Bis-GMA, TEGDMA

Diese Komponenten sind weit verbreitet in Dentalmaterialien.

### 9.2 Akute Toxizität

Daten zur akuten oralen Toxizität von allen Hauptkomponenten von Syntac sind von externen Quellen erhältlich:

	LD 50	Spezies	Referenz
<b>PEGDMA</b>	10.200 mg/kg	Maus	79
<b>TEGDMA</b>	10.837 mg/kg	Ratte	80
<b>Maleinsäure</b>	700-2400 mg/kg	Ratte, Maus	81
<b>Aceton</b>	10,7 ml/kg	Ratte	82
<b>Glutaraldehyd</b>	820 mg/kg	Ratte	83

Tabelle 8: Daten zur akuten Toxizität von Syntac-Bestandteilen

LD 50 ist die Menge eines verabreichten Materials, die den Tod von 50 % einer Gruppe von Testtieren verursacht. Dies ist eine Methode, die akute Toxizität eines Materials zu messen.

Der Wert wird hier per Kilo Körpergewicht des Testtiers angegeben. Je höher der LD 50-Wert, desto niedriger die Toxizität d.h. eine grössere Menge eines Inhaltsstoffes ist nötig um toxisch zu wirken. Alle gezeigten Werte bewegen sich über 700 mg/kg. Eine typische Anwendung für eine Restauration benötigt selten mehr als 40 mg an Material. Angenommen, ein durchschnittlicher Mensch wiegt 50 kg, so beträgt der geschätzte Sicherheitsfaktor etwa 1000. Das bedeutet, 35'000 mg (700 mg x 50) Substanz wären die notwendige LD50-Menge für einen durchschnittlichen, 50kg- schweren Menschen. In der Annahme, dass bei einer Syntac-Applikation 40 mg verwendet werden, ergibt dies einen Sicherheitsfaktor von nahezu 1000. (35'000:40=875).

Farmer et al.<sup>84</sup> haben die histologische Verträglichkeit von Syntac untersucht. Während drei Tagen konnte keine auf Syntac zurückzuführende Pulpareaktion beobachtet werden. Nach einem Beobachtungszeitraum von 80 Tagen schlossen die Autoren die Möglichkeit einer Pulpairritation durch Syntac aus.

### **9.3 Sensibilisierung und Irritation**

Wie alle kunststoffbasierten Materialien enthält Syntac Methacrylat- und Acrylat-Derivate. Solche Materialien können eine reizende Wirkung haben und eine Sensibilisierung verursachen. Dies kann zu einer allergischen Kontaktdermatitis führen. Allergische Reaktionen bei Patienten sind sehr selten, werden aber beim Dentalpersonal, das täglich mit nicht ausgehärtetem Material arbeitet, immer häufiger beobachtet.<sup>85,86</sup> Diese Reaktionen können durch eine saubere Arbeitsumgebung und der Vermeidung von Hautkontakt mit nicht ausgehärtetem Material minimiert werden. Die üblicherweise verwendeten Latex- oder Vinylhandschuhe bieten keinen wirkungsvollen Schutz vor Sensibilisierung gegen solche Verbindungen.

Bei unsachgemäßer Anwendung von Syntac kann es vorkommen, dass die Lösung mit der Mundschleimhaut in Kontakt kommt. Glutaraldehyd jeder Konzentration ist jedoch wasserlöslich, und wenn sofort nach Kontakt ausgiebig mit Wasser gespült wird, sollten die Gewebe keinerlei Beschädigung erleiden. Wenn hingegen unbeabsichtigte Kontaminationen der Schleimhäute auftreten, kann dies zu lokalen Gewebsläsionen führen.

Da die sensibilisierenden Eigenschaften der oben genannten Inhaltsstoffe bekannt und in den Gebrauchsinformation erwähnt sind, wurden keine Sensibilisierungstests mit Syntac durchgeführt.

### **9.4 Schlussfolgerung**

Syntac ist seit 1990 auf dem Markt, und es sind keine unerwarteten unerwünschten Nebenwirkungen bekannt geworden. Bei korrekter Anwendung stellt Syntac nach dem heutigen Wissensstand kein Risiko für Patienten, Anwender oder Drittpersonen dar, und der Nutzen des Produkts überwiegt das Restrisiko.

## 10. Literatur

1. Kugel G. J Am Dent Assoc 131, No suppl 1 20S-25S
2. Bowen R L. Dental filling material comprising vinyl silane treated fused silica and a binder consisting of the reaction product of Bis phenol and glycidyl acrylate. 1962; Patent No: 3,066,112.
3. Eisenmann D R (1998). Enamel structure. In: Oral Histology Development, Structure and Function. A R Ten Cate editor. St. Louis: Mosby, pp. 218-235.
4. Schroeder H E. Oral Structural Biology. Thieme; New York 1991
5. Alhadainy H A, Abdalla Al. 2-year clinical evaluation of dentin bonding systems. Am J Dent 1996; 9: 77-79.
6. Van Meerbeek B, Peumans M, Verschueren M, Gladys S, Braem M, Lambrechts P, Vanherle G. Clinical status of ten dentin adhesive systems. J Dent Res 1994; 73: 1690-1702.
7. Gwinnett A J. Quantitative contribution of resin infiltration/hybridization to dentin bonding. Am J Dent 1993; 6:7-9.
8. Gwinnett AJ. Dentin bond strength after air drying and rewetting. Am J Dent 1994; 7: 144-148.
9. Buonocore M G. A simple method of increasing the adhesion of acrylic filling materials to enamel surfaces. J Dent Res 1955; 34: 849-853.
10. Silverstone L M, Saxton C A, Dogon I L, Fejerskov O. Variation in the pattern of acid etching of human dental enamel examined by scanning electron microscopy. Caries Res 1975; 9 (5): 373-387
11. Perdigao J, Lambrechts P, Van Meerbeek B, Tome A R, Vanherle G, Lopes A B. Morphological field emission-SEM study of the effect of six phosphoric acid etching agents on human dentin. Dent Mater 1996; 12: 262-71
12. Pashley D H, Ciucci B, Sano H, Horner J A. Permeability of dentin to adhesive agents. Quintessence Int. 1993; 24: 618-631
13. Van Meerbeek B, Vargas S, Inoue S, Yoshida Y, Peumans M, Lambrechts P, Vanherle G. Adhesives and cements to promote preservation dentistry. Operative Dentistry 2001. (Supplement 6) 119-144
14. Hashimoto M, Tay F R, Svizero N R, de Gee A J, Feilzer A J, Sano H, Kaga M, Pashley D H. The effects of common errors on sealing ability of total-etch adhesives. Dent Mater 2006; 22: 560-568.
15. van Dijken J W, Sunnegardh-Gronberg K. A four-year clinical evaluation of a highly filled hybrid resin composite in posterior cavities. J Adhes Dent 2005; 7: 343-349.
16. Knitter K, Lösche GM, Blunck U. Effectiveness of Excite/Tetric Ceram in Class-II-restorations after three years. J Dent Res 2005; 84 (Spec Iss B):Abstract# 0333.
17. Buonocore M G. Principles of adhesive retention and adhesive restorative materials. J. Am Dent Assoc. 1963 Sep; 67: 382-91.
18. Huget E F, Denniston J C, Vilca J M. Dentin adhesives: a perspective. Military Medicine 1979; 144: 619-620
19. Crim G A, Swartz M L, Phillips R W. An evaluation of cavosurface design and microleakage. Gen Dent 1984; 32: 56-58
20. Haller B, Blunck U. Übersicht und Wertung der aktuellen Bonding-systeme. ZM 2003; 93 (7): 48-58
21. Frankenberger R. Adhäsivtechnik 2009 – Neuigkeiten Tipps und Trends. Quintessenz 2009; 60 (4) 415-423
22. Haller B. Mechanismus und Wirksamkeit von Dentinhaftvermittlern Dtsch Zahnärztl Z 49 (1994) 750-759
23. Cox CF, Suzuki S. Re-evaluating pulp protection: calcium hydroxide liners vs. cohesive hybridization J Am Dent Assoc 1994;125: 823-831

24. Gwinnett AJ, Dickerson WG, Yu S. Dentin bond shear strength and microleakage for Syntac/Heliomolar: a comparison between the manufacturer's and total etch technique. *J Esthet Dent* 1992; 4: 164-168
25. Frankenberger R, Krämer N, Petschelt A. Fatigue behaviour of different dentin adhesives. *Clin Oral Invest.* 1999; 3: 11-17
26. GfK Healthcare. DDM Jahresbericht 2010. Ivoclar Vivadent. Chairside Bereich
27. GfK Healthcare. ZaBus IV/2010
28. Frankenberger R, Schipper H M, Roggendorf M J. Adhäsivtechnik 2010 – Etch and Rinse oder Self Etch Systeme? *Quintessenz* 2010; 61 (5): 537-542
29. Cardoso M V, Yoshida Yasuhiro, Van Meerbeek B. Adhesion to tooth enamel and dentin – a view on the latest technology and future perspectives. Chapter 3 from: Roulet J-F, Kappert H F. *Statements – Diagnostics and therapy in dental medicine today and in the future.* Quintessenz Publishing 2009
30. Pröbster L, Ulmer HJ, Engel E; Four-year survival rate study of IPS Empress restorations; *DGZPW* 1996: 59
31. Folwaczny M, Mehl A, Kunzelmann K H, Hickel R. Tooth colored restorations of class V lesions using four different materials - five year results. *J Dent Res* 2000; 79: 361.
32. Mazer R, Cury C, Teixeira L, Leinfelder K. Influence of Maleic acid on the retention of abraded lesion restorations. *J Dent Res* 1994; 73: 275
33. Krämer N, Ebert J, Petschelt A, Frankenberger R. Ceramic inlays bonded with two adhesives after 4 years. *Dental Materials* 2006; 22: 13-21
34. Krämer N, Taschner M, Lohbauer U, Petschelt A, Frankenberger R. Totally bonded ceramic inlays and onlays after eight years. *J Adhes Dent* 2008; 10: 307-314
35. Taschner M, Frankenberger R, Garcia-Godoy F, Rosenbusch S, Petschelt A, Krämer N. IPS Empress inlays luted with a self-adhesive resin cement after 1 year. 2009. *Am J Dent.* 22 1:55-59
36. Schirrmeister J F, Huber K, Hellwig E, Hahn P. Four-year evaluation of a resin composite including nanofillers in posterior cavities. *J Adhes Dent* 2009; 11: 399-404
37. Frankenberger R. Bonding 2006 – Zeitersparnis versus Langzeiterfolg. *Quintessenz* 2006, 57 (5) 485-495
38. Frankenberger R, Lohbauer U, Schaible R B, Nikolaeinko S A, Naumann M. Luting of ceramic inlays in vitro: Marginal quality of self-etch and etch-and –rinse adhesives versus self-etch cements. *Dent Materials* 2008; 24:185-191
39. Peumans M, Kanumilli P, De Munck J, Van Landuyt K, Lambrechts P, Van Meerbeek B. Clinical effectiveness of contemporary adhesives: A systematic review of current clinical trials. *Dent Mater* 2005; 21: 864-881.
40. Krejci I, Besek M, Lutz F Clinical and SEM study of Tetric resin composite in posterior teeth: 12-month results *Am J Dent* 1994; 7: 27-30
41. Boretti R, Krejci I, Lutz F Clinical and scanning electron microscopic evaluation of fine hybrid composite restorations in posterior teeth after four years of wear *J Dent Res* 1997; 76: 41
42. Krämer N, Frankenberger G, Dettenhofer J, Ebert M, Pelka M, Petschelt A; Clinical Evaluation of Ceramic Inlays and Onlays after Four Years; *J Dent Res* 1997; 76: 271
43. Pelka M, Teinelt C, Krämer N, Fassbender U, Petschelt A; In-vivo-Abrasion bei IPS Empress Inlays; *Dtsch Zahnärztl Z* 50 1995: 917-919
44. Fradeani M, Aquilano A; Clinical Experience with IPS Empress Crowns; *Int J Prosthodont* 1997;10: 241-247
45. Mazer RB, Cury C, Teixeira L, Leinfelder K; Influence of maleic acid on the retention of abraded lesion restorations; *J Dent Res* 1994; 73: 275
46. Loher C, Kunzelmann KH, Hickel R; klinische Studie mit Hybridionomerzement-, Kompomer- und Kompositfüllungen in Klasse-V-kavitäten; *Dtsch Zahnärztl Z* 1997; 52: 8
47. Folwaczny M, Loher C, Mehl A, Benz C, Hickel R; Class V fillings with four different light curing materials: three years results; *J Dent Res* 1998; 77: 190

48. Lasfargues J, Bonte E, Bnebot D, Pujol F, Bachelard B; Clinical performance of a microhybrid posterior composite resin restorative material: a one-year clinical report; *J Dent Res* 1997; 76: 1117
49. A. Peschke, L. Enggist, and R.Watzke, Poster: Five-Year Clinical Evaluation of Posterior Nano-Hybrid Composite Resin Restorations, Abstract Nr. 0237, 45th Meeting of the Continental European Division (CED) of IADR, Budapest, September 2011.
50. Hickel R, Roulet J F, Bayne S, Heintze S D, Mjor I A, Peters M, Rousson V, Randall R, Schmalz G, Tyas, M, Vanherle G. Recommendations for conducting controlled clinical studies of dental restorative materials. Science Committee Project 2/98--FDI World Dental Federation study design (Part I) and criteria for evaluation (Part II) of direct and indirect restorations including onlays and partial crowns. *J. Adhes Dent.* 2007; 9 Suppl 1: 121-47.
51. Manhart J, Chen H-Y, Hamm G, Hickel R. Review of the clinical survival of direct and indirect restorations in posterior teeth of the permanent dentition. *Oper Dent* 2004; 29: 481-508
52. Peumans M, Van Meerbeek B, Lambrechts P, Vuylsteke-Wauters M, Vanherle G. Five year clinical performance of porcelain veneers. *Quintessence Int.* 1998; 29: 211-221
53. Krämer N, Garcia-Godoy F, Reinelt C, Feilzer A J, Frankenberger R. Nanohybrid vs. fine hybrid composite in extended Class II cavities after six years. *Dental Materials* 2011; 27:455-464
54. Krämer N, Reinelt C, Richter G, Petschelt A, Frankenberger R. Nanohybrid vs. fine hybrid composite in Class II cavities: Clinical results and margin analysis after four years. *Dental Materials* 2009; 25: 750-759
55. Manhart J, Chen H Y, Hickel R. Clinical evaluation of the posterior composite Quixfil in Class I and II cavities: 4-year follow-up of a randomized controlled trial. *J Adhes Dent* 2010;12:237-243
56. van Dijken J W V, Pallesen U. Long-term dentin retention of etch-and-rinse and self-etch adhesives and a resin-modified glass ionomer cement in non-carious cervical lesions. *Dental Materials* 2008; 24: 915-922
57. Leinfelder K, University of Alabama, Birmingham, USA, 1994 Mazer RB, Cury C, Teixeira L, Leinfelder KF. Influence of maleic acid on the retention of abraded cervical lesion restorations. *JDR* 1994; 73, 275 Abstr. 1389
58. Folwaczny M, Loher C, Mehl A, Kunzelmann K H, Hickel R. Class V lesions restored with four different tooth-colored materials – 3-year results. *Clin Oral Invest* 2001; 5:31-39
59. Heintze S, Ruffieux C, Rousson V. Clinical performance of cervical restorations – a meta-analysis. *Dental Materials* 2010; 26: 993-1000
60. Krämer N et al.; Clinical study conducted at the University of Erlangen, Germany; IADR, Abstract 2002, San Diego
61. Krämer N, Frankenberger R. Clinical performance of bonded leucite-reinforced glass ceramic inlays and onlays after eight years. *Dent Materials* 2005 21: 262-271
62. Frankenberger R, Taschner M, Garvia-Godoy F, Petschelt A, Krämer N. Leucite-reinforced glass ceramic inlays and onlays after 12 years. *J Adhes Dent* 2008; 10: 393-398.
63. Coelho Santos M J M, Mondelli R F L, Lauris J R P, Navarro M F L. Clinical evaluation of ceramic inlays and onlays fabricated with two systems: Two-year clinical follow up. *Operative Dent* 2004; 29-2: 123-130
64. Bernhart J, Schulze D, Wrbas K-T. Evaluation of the clinical success of Cerec 3D inlays. *Int J Comp Dent* 2009; 12: 265-277
65. Zimmer S, Göhlich O, Rüttermann S, Lang H, Raab WH-M, Barthel C R. Long-term survival of Cerec restorations: A 10-year study. *Operative Dentistry* 2008; 33-5: 484-487
66. Reich S M, Wichmann M, Rinne H, Shortall A. Clinical performance of large, all-ceramic CAD/CAM-generated restorations after three years. A pilot study. *JADA* 2004; 135: 605-612
67. Guess P C, Strub J R, Steinhart N, Wolkewitz M, Stappert C F J. All-ceramic partial coverage restorations – midterm results of a 5-year prospective clinical split-mouth study. *J Dent* 2009 37: 627-637

68. Fradeani M, Redemagni M. Klinische Evaluation von leuzitverstärkten glaskeramischen Kronen über 11 Jahre. *Quintessenz* 2003; 54; 4: 379-386
69. van Dijken J W V, Hasselrot L. A prospective 15-year evaluation of extensive dentin-enamel-bonded pressed ceramic coverages. *Dental Materials* 2010; 26: 929-939
70. Donovan T E, Anderson M, Becker W, Cagna D R, Hilton T J, Rouse J. Annual review of selected scientific literature: Report of the committee on scientific investigation of the American Academy of Restorative Dentistry. *J Prosthet Dent* 2011;106: 224-265
71. Brännström M, Linden LÅ, Åstrom A: The hydrodynamics of the dental tubule and of pulp fluid. A discussion of its significance in relation to dentinal sensitivity. *Caries Res.* 1967; 1: 310-317.
72. Frankenberger R, Krämer N, Lohbauer U, Nikolaenko S A, Reich S M. Marginal integrity: is the clinical performance of bonded restorations predictable in vitro? *J. Adhes. Dent* 2007; 9 (Suppl. 1): 107-116
73. Perdigao J, Geraldeli S, Hodges J S. Total-etch versus self-etch adhesive: effect on postoperative sensitivity. *J Am Dent Assoc.* 2003, 134 (12):1621-9
74. Faber K. *Biotransformations in organic chemistry – a textbook.* Springer-Verlag. Berlin. 1995.
75. Cox C F, O’Neal S J. Biologic and clinical evaluation of Syntac and Variolink systems for cohesive pretreatment of hypersensitivity and definitive cementation. *Signature Winter* 1994. 3-7
76. Monaco C, Ferrari M, , Caldari M, Baldissara P Scotti R. Comparison of 2 bonding systems and survival of fiber-reinforced composite inlay fixed partial dentures. *Int J Prosthodont* 2006; 19: 577-585
77. Wilson N H, Cowan A J, Unterbrink G, Wilson M A, Crisp R J. A clinical evaluation of Class II composites placed using a decoupling technique. *J Adhes Dent* 2000; 2 (4): 319-329
78. D.F. Williams. *The Williams dictionary of Biomaterials* 1999
79. MSDS- Shin-Nakamura-Chemical Co.
80. Schmalz G. The biocompatibility of non-amalgam dental filling materials. *Eur J Oral Sci* 1998;106: 696-706
81. TOXNET. Maleic acid. Hazardous Substances Data Bank (HSDB) A database of the National Library of Medicines. TOXNET system report no. 666. March 5, 2003
82. TOXNET. Acetone. Hazardous Substances Data Bank (HSDB) A database of the National Library of Medicines. TOXNET system report no. 41. June 24, 2005
83. TOXNET. Glutaraldehyde. 2005-06-24
84. Farmer J B, Cox C F, White K , Ramus L. Histological evaluation of a new bonding agent. *J Dent Res* 1992; 71: 279
85. Geurtsen W. Biocompatibility of resin-modified filling materials. *Crit Rev Oral Biol Med* 2000; 11: 333-335.
86. Munksgaard EC, Hansen EK, Engen T, Holm U. Self reported occupational dermatological reactions among Danish dentists. *Eur J Oral Sci* 1996; 104: 396-402.

---

Diese Dokumentation enthält einen Überblick über interne und externe wissenschaftliche Daten („Informationen“). Die Dokumentation und die Informationen sind allein für den internen Gebrauch von Ivoclar Vivadent und externen Ivoclar Vivadent-Partnern bestimmt. Sie sind für keinen anderen Verwendungszweck vorgesehen. Obwohl wir annehmen, dass die Informationen auf dem neuesten Stand sind, haben wir sie nicht alle überprüft und können und werden nicht für ihre Genauigkeit, ihren Wahrheitsgehalt oder ihre Zuverlässigkeit garantieren. Für den Gebrauch der Informationen wird keine Haftung übernommen, auch wenn wir gegenteilige Informationen erhalten. Der Gebrauch der Informationen geschieht auf eigenes Risiko. Sie werden Ihnen „wie erhalten“ zur Verfügung gestellt, ohne explizite oder implizite Garantie betreffend Brauchbarkeit oder Eignung (ohne Einschränkung) für einen bestimmten Zweck.

Die Informationen werden kostenlos zur Verfügung gestellt und weder wir, noch eine mit uns verbundene Partei, können für etwaige direkte, indirekte, mittelbare oder spezifische Schäden (inklusive aber nicht ausschliesslich Schäden auf Grund von abhanden gekommener Information, Nutzungsausfall oder Kosten, welche aus dem Beschaffen von vergleichbare Informationen entstehen) noch für poenale Schadenersätze haftbar gemacht werden, welche auf Grund des Gebrauchs oder Nichtgebrauchs der Informationen entstehen, selbst wenn wir oder unsere Vertreter über die Möglichkeit solcher Schäden informiert sind.

Ivoclar Vivadent AG  
Forschung und Entwicklung  
Wissenschaftlicher Dienst  
Bendererstrasse 2  
FL - 9494 Schaan  
Liechtenstein

Inhalt: Joanna-C. Todd  
Ausgabe: Februar 2012

---