

5 Ergebnisse

5.1. Abschnitt 1: Validierung der Auswertungsmethoden mit dem CLSM

5.1.1. Quantitative Auswertung

Wie anhand der mit den zwei verschiedenen Visualisierungsmethoden (CLSM/TMR) evaluierten Variablen (Läsionstiefen sowie Mineralverlust) ersichtlich wird, beeinflusste die Länge der Expositionszeit das Ausmaß der Demineralisation signifikant ($p < 0,05$; ANOVA). Die mittleren Läsionstiefen (jeweils $n = 29$), die nach Penetration des mit RITC (0,1 %) gefärbten Spurr's Kunststoff (Methode A) gemessen werden konnten, waren mit Messmethode A1 (Strecke von der Läsionsoberfläche bis zu den Prismen, die keine fluoreszierenden Zentren besitzen) und A2 (Dicke der hellsten Zone) bei allen Demineralisationszeiten vergleichbar ($p \geq 0,05$; t-Test), lagen allerdings vor allem nach siebentägiger Demineralisation deutlich unter den Werten, die mit der Methode C (wässrige Natriumfluoresceinlösung) sowie mit der TMR berechnet wurden. Die Mittelwerte der Läsionstiefen sowie der Mineralverluste der beiden TMR-Auswertungen zeigten eine gute Übereinstimmung bei allen drei Zeiten ($p \geq 0,05$; t-Test). Die mit der Methode A2 b evaluierten Läsionstiefen lagen hingegen deutlich höher (Tab. 10).

Tab. 10: Läsionstiefen (LT) in μm , die anhand der CLSM- bzw. der TMR-Bilder gemessen wurden sowie die Mineralverluste (MV) in $\text{Vol.}\% \times \mu\text{m}$, die anhand der mikroradiografischen Bilder bestimmt wurden nach den drei unterschiedlichen Demineralisationszeiten ($n = 29$)

	7 Tage		14 Tage		40 Tage	
	MW	S	MW	S	MW	S
LT CLSM A1	57	27	145	26	216	40
LT CLSM A2 b	95	41	210	42	286	52
LT CLSM A2	56	20	133	24	208	43
LT CLSM C	81	23	156	29	225	45
LT TMR A	92	30	166	40	247	46
MV TMR A	1563	641	3011	1159	5151	1663
LT TMR K	93	26	158	32	248	41
MV TMR K	1604	602	3065	1012	5539	1433

(MW) Mittelwerte und Standardabweichung (S); Bei Methode A wurden die Läsionen mit Spurr's Kunststoff, der ein rot fluoreszierenden Farbstoff, Rhodaminisothiocyanat (0,1 %), enthält, unter Druck (8 bar) penetriert, während bei Methode B die Läsionen mit einer wässrigen Natriumfluoresceinlösung (0,1 %) angefärbt wurden.

Die Korrelationskoeffizienten nach Pearson verdeutlichen die sehr gute Übereinstimmung der Läsionstiefen sowie der Mineralverluste. Zwischen den Läsionstiefen, die anhand von CLSM-

Bildern bestimmt wurden (LT CLSM A1, A2b, A2 und C), konnten sehr gute Korrelationen ($r = 0,850-0,971$; Pearson Korrelationskoeffizient) beobachtet werden; auch mit den mikroradiografischen Daten zeigten sich vergleichbar gute Korrelationen ($r = 0,809-0,935$; Pearson Korrelationskoeffizient). Allerdings wurden vor allem zwischen den mit der Methode A2 b und den anderen drei anhand von CLSM-Bildern bestimmten Läsionstiefen deutlich geringere Intraklassenkorrelationskoeffizienten (IKK) errechnet. Die mit der Mikroradiografie anhand der mit Spurr' Kunststoff (TMR A) sowie der unbehandelten Proben (TMR K) erhobenen Läsionstiefen und Mineralverluste zeigten sehr gute Korrelationen ($r = 0,882-0,942$; Pearson Korrelationskoeffizient) und vergleichbar hohe IKK's (MV: 0,853; LT: 0,910) (Tab. 11).

Tab. 11: Korrelations- (r) sowie Intraklassenkorrelationskoeffizienten (IKK) der mit den verschiedenen Auswertungsmethoden bestimmten Läsionstiefen (LT) des Mineralverlustes (MV)

Korrelationskoeffizienten aller gemessenen Läsionstiefen sowie der Läsionstiefen mit den Mineralverlusten (TMR)

Korrelationskoeffizient	LT CLSM A1		LT CLSM A2 b		LT CLSM A2		LT CLSM C	
	r	IKK	r	IKK	r	IKK	r	IKK
LT CLSM A1	1	1						
LT CLSM A2 b	0,932	0,722	1	1				
LT CLSM A2	0,971	0,966	0,917	0,667	1	1		
LT CLSM C	0,909	0,887	0,850	0,713	0,922	0,877	1	1
LT TMR A	0,908	0,833	0,875	0,813	0,935	0,823	0,893	0,870
MV TMR A	0,854	--	0,809	--	0,890	--	0,841	--
LT TMR K	0,911	0,850	0,900	0,818	0,933	0,835	0,909	0,894
MV TMR K	0,886	--	0,852	--	0,916	--	0,901	--

Korrelationskoeffizienten aller mit der TMR gemessenen Werte

Korrelationskoeffizient	LT TMR A		MV TMR A		LT TMR K		MV TMR K
	r	IKK	r	IKK	r	IKK	r
LT TMR A	1	1					
MV TMR A	0,942	--	1	1			
LT TMR	0,912	0,910	0,882	--	1	1	
MV TMR	0,892	--	0,905	0,853	0,955	--	1

5.1.1. Qualitative Auswertung

Anhand der exemplarischen Darstellung wird deutlich, dass die drei verschiedenen Visualisierungsmethoden mit Hilfe des CLSM vergleichbare Darstellungen der Läsionen ermöglichten. Die von der ehemals gesunden Oberfläche gemessenen Läsionstiefen lagen allerdings bei allen CLSM-Methoden etwa unterhalb derer, die mit der Mikroradiografie bestimmt wurden. Mit der Methode CLSM A2 b konnten darüber hinaus Bereiche der fortschreitenden Demineralisation dargestellt werden, die mit keiner anderen Methode visualisiert werden konnten (Abb. 27).

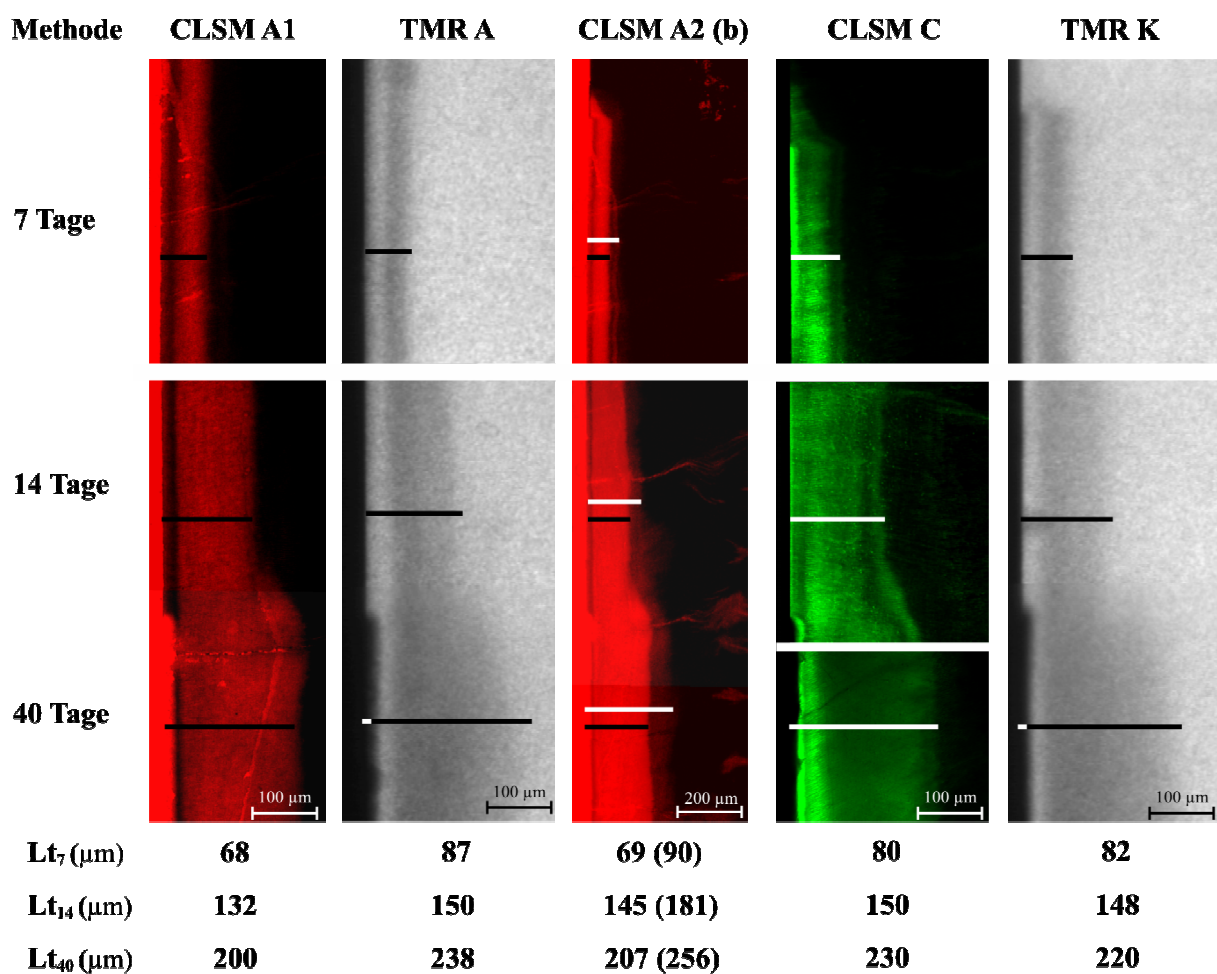


Abb. 27: Exemplarische Darstellungen der drei Läsionsbereiche nach 7, 14 und 40 Tagen Demineralisation. Mit den Methoden CLSM A1 und CLSM A2 wurden bei allen drei Zeiten vergleichbare Läsionstiefen (schwarze Balken) gemessen, während mit Methode CLSM C in diesem Beispiel nur leicht höhere Läsionstiefen gemessen wurden. Die mikroradiografisch bestimmten Läsionstiefen der mit Spurr's Kunststoff penetrierten Proben (TMR A) sind mit denen der unbehandelten Kontrollen (TMR K) vergleichbar. Die Läsionstiefen, die mit der Methode CLSM A2 b (weiße Balken) bestimmt wurden, waren höher als die mit den anderen Methoden bestimmten Tiefen.

Die Abtragung der Grauwerte (Falschfarbendarstellung: rot) mit der Methode CLSM A1 gewonnener Bilder gegen die Läsionstiefe führt zu vergleichbaren Mineralprofilen wie bei mikroradiografischer Auswertung. Ein Unterschied besteht darin, dass große Porenvolumina mit dem CLSM hohe Grauwerte (hellgrau/rot) erzeugen, wogegen diese im TMR-Bild aufgrund des niedrigen Mineralgehaltes und der resultierenden Filmschwärzung niedrige Grauwerte (dunkelgrau) ergeben (Abb. 28). Vergleichbare Darstellungen ergeben sich bei den mit Natriumfluoresceinlösung imbibierten Läsionen (Methode C).

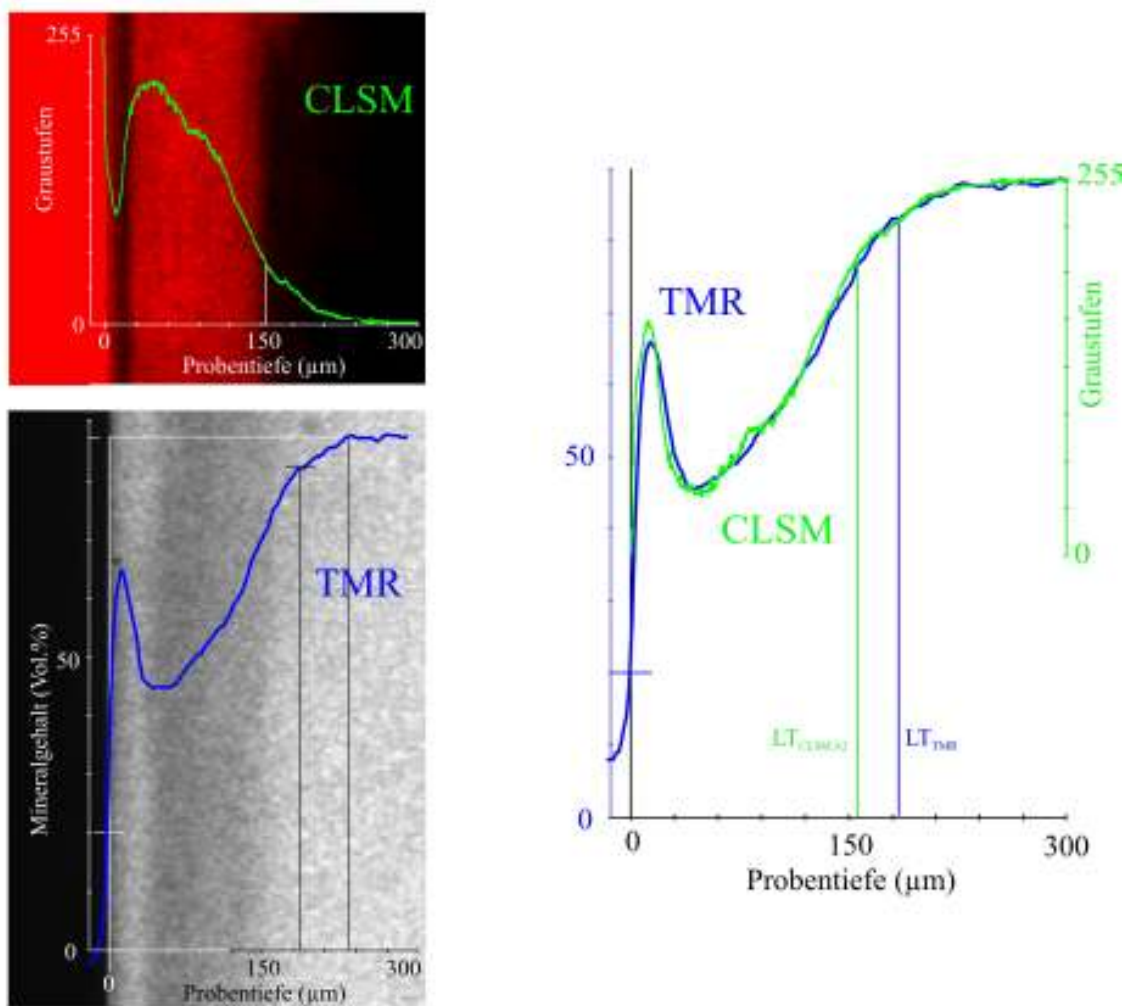


Abb. 28: Abtragung der Graustufen (im Falschfarbentbild rot) der mit dem CLSM vorgenommenen Auswertung (grün) sowie der mit der TMR erzeugten Grafen (blau) gegen die Probentiefe. Bei Spiegelung der vom CLSM-Bild gewonnenen Kurve über die x-Achse wird die Ähnlichkeit der beiden Grafen deutlich (rechts). Die Läsionstiefe wurde bei der Bestimmung mit Hilfe der TMR als der Abstand zwischen der Probenoberfläche und der Tiefe mit einem Mineralgehalt von 95 % des gesunden Schmelzes festgelegt (LT_{TMR}). Im CLSM-Bild wurde bei Methode A1 die Läsionstiefe als die Strecke von der Probenoberfläche bis zu dem Punkt, an dem keine Fluoreszenz der Prismenkerne mehr auftrat, definiert ($LT_{CLSM A1}$). Die ermittelten Läsionstiefen unterschieden sich geringfügig, wobei mit dem CLSM niedrigere Läsionstiefen gemessen wurden.

5.2. Abschnitt 2a: Einfluss der Applikationszeit auf die Penetration verschiedener Adhäsivsysteme und eines Fissurenversieglers in künstliche kariöse Läsionen sowie die Läsionsprogression *in vitro*

5.2.1. Penetration der Materialien

Die mit den sechs Materialien penetrierten Läsionen zeigten mittlere Läsionstiefen (Standardabweichung) von 94 (20) μm , die sich zwischen den Gruppen nicht signifikant unterschieden ($p \geq 0,05$; ANOVA). Durch die Verlängerung der Applikationszeit wurden die Penetrationstiefen der Materialien Helioseal[®], Heliobond[®], Resulcin Monobond[®] und Excite[®] signifikant erhöht ($p < 0,05$; t-Test). Nach 15 s Penetrationszeit zeigte Resulcin Monobond[®] [49 (20) μm] die größte Penetrationstiefe, während nach 30 s Excite[®] [105 (38) μm] die größte Tiefe erreichte (Abb. 29).

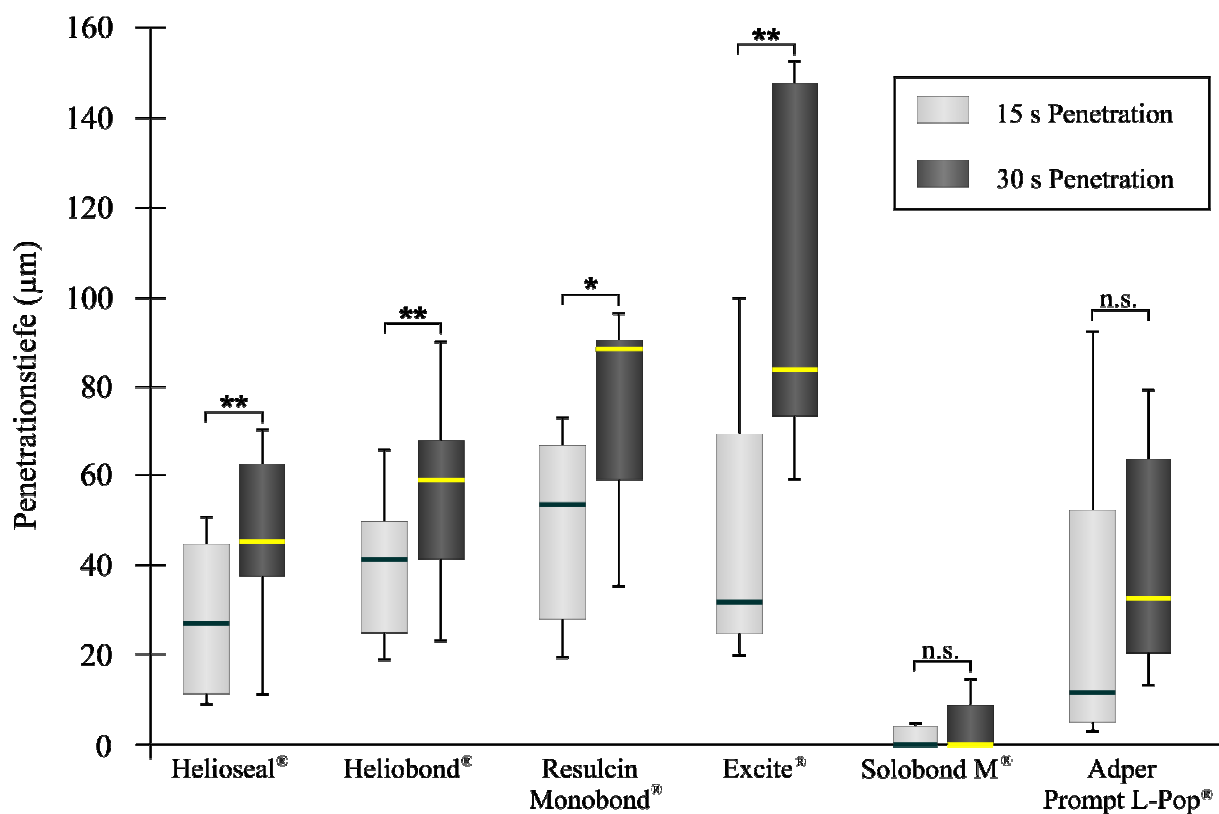


Abb. 29: Penetrationstiefen (μm) der getesteten Materialien nach 15 s (hellgrau) und 30 s (dunkelgrau) Penetrationszeit. Dargestellt sind box-and-whiskers-plots mit den jeweiligen Quartilen sowie Medianen. Signifikante Unterschiede zwischen den jeweiligen gepaarten Gruppen sind mit Sternen gekennzeichnet ($p < 0,05$ *; $p < 0,01$ **; t-Test).

Bezüglich der Penetrationstiefen in Relation zu den Läsionstiefen (Tab. 12) zeigten bei 15 s Penetrationsdauer Resulcin Monobond[®], Excite[®] und Heliobond[®] signifikant größere Werte als Solobond M[®] ($p < 0,01$; Bonferroni). Excite[®] und Resulcin Monobond[®] konnten nach 30 s Applikation die Läsion vergleichbar gut penetrieren ($p \geq 0,05$); penetrierten aber signifikant besser als Helioseal[®] und Adper Prompt L-Pop[®] ($p < 0,05$). Solobond M[®] drang nach 30 s kaum ein und penetrierte damit signifikant schlechter als alle anderen Materialien ($p < 0,001$).

Tab. 12: Prozentuale Penetrationstiefe in Relation zur Läsionstiefe nach 15 s bzw. 30 s Penetrationszeit

Material	15 s Penetrationszeit			30 s Penetrationszeit		
	MW	S	Sig.	MW	S	Sig.
Helioseal [®]	29	17	AB	48	17	C
Heliobond [®]	50	22	A	64	25	BC
Resulcin Monobond [®]	56	26	A	80	19	AB
Excite [®]	53	26	A	92	12	A
Solobond M [®]	2	3	B	5	7	D
Adper Prompt L-Pop [®]	28	32	AB	47	28	C

Mittelwerte (MW), Standardabweichungen (S) und signifikante Unterschiede (Sig.). Gruppen mit unterschiedlichen Buchstaben unterscheiden sich signifikant voneinander ($p < 0,05$; Bonferroni).

In den exemplarischen Darstellungen sind die penetrierten Materialien dunkel, das verbliebene Porenvolumen rot dargestellt. Charakteristisch für das Penetrationsverhalten war, dass zunächst die Prismenkerne infiltriert wurden, während die Prismenscheiden meist nur in den oberen Bereichen der Läsionen aufgefüllt wurden (Abb. 30-32).

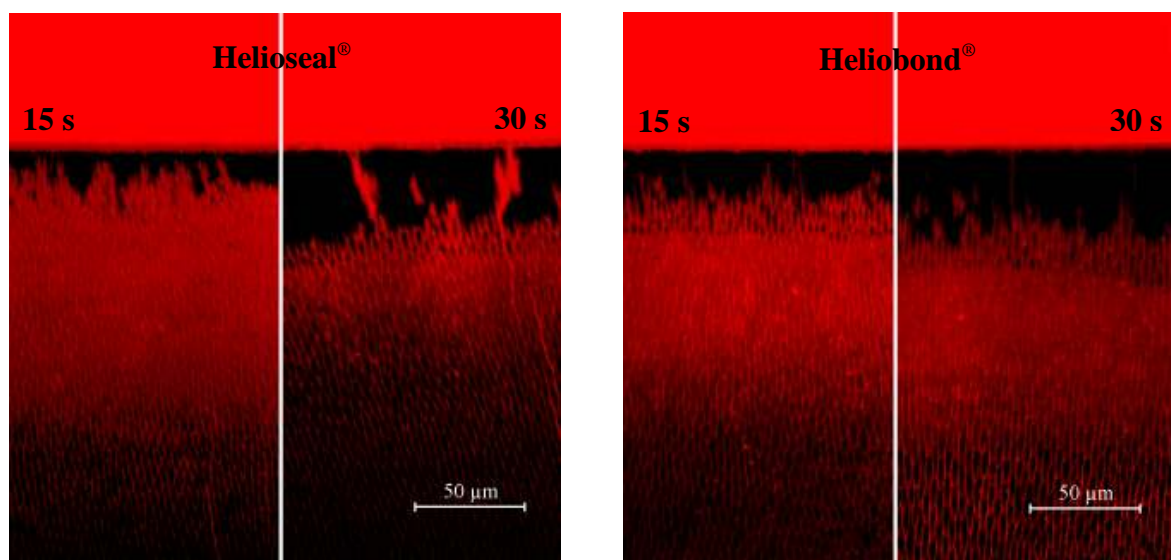


Abb.30: Sowohl Heliobond[®] als auch Heliobond[®] zeigten vergleichsweise homogene Schichten mit wenigen unpolymerisierten Bereichen.

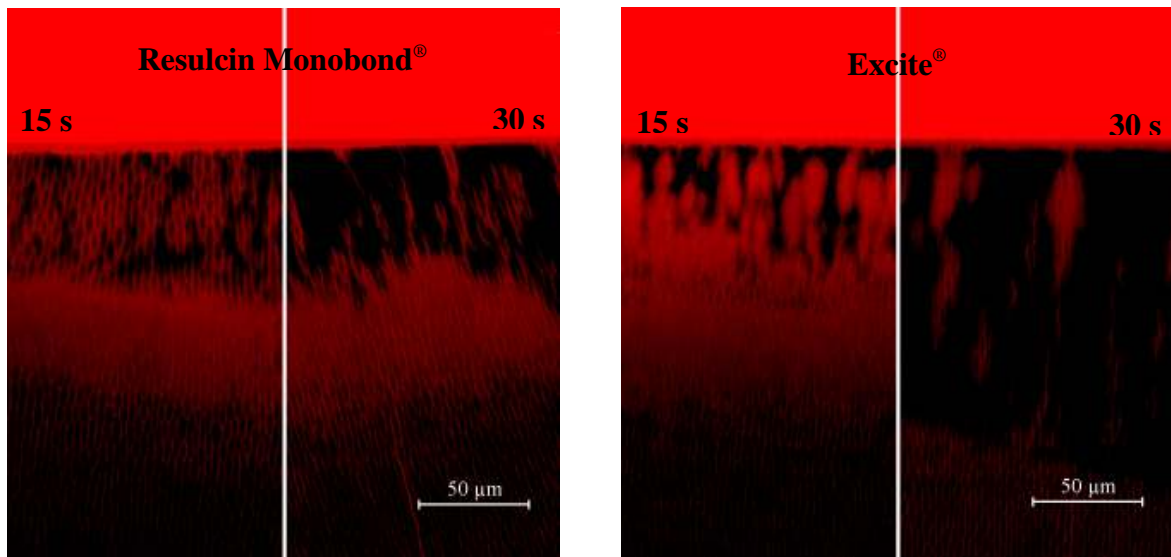


Abb. 31: Nach 30 s Penetrationsdauer bildete Resulcin Monobond[®] ebenfalls relativ kompakte Versiegler-schichten mit geringen Anteilen unversiegelter Porenstruktur aus. Excite[®] drang tief in die Läsionen ein und zeigte eine dünne Inhibitionsschicht. Der Anteil unausgefüllter Poren war etwas höher als bei Resulcin Monobond[®].

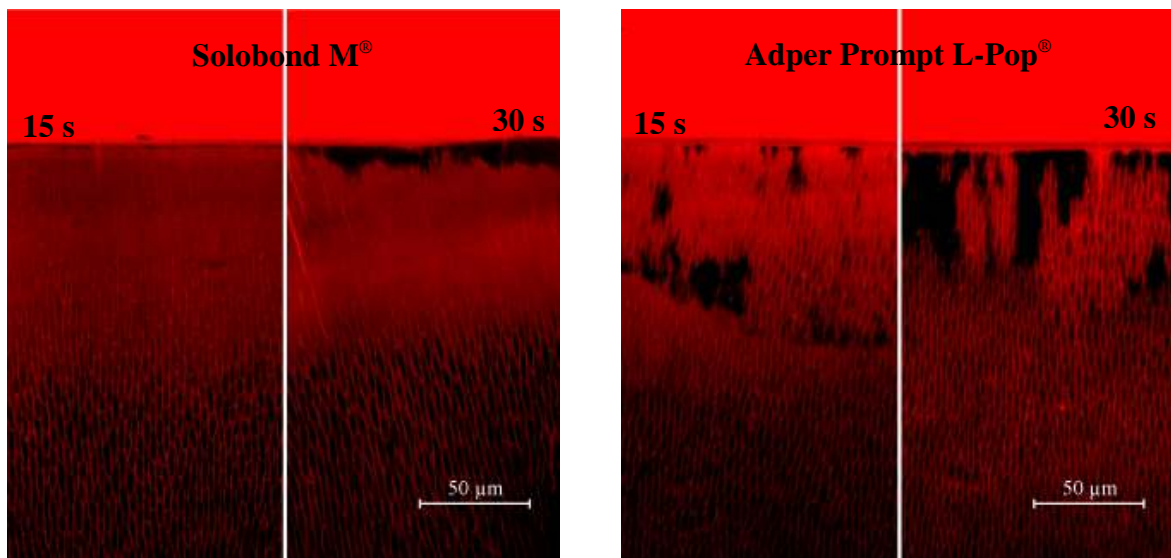


Abb. 32: Solobond M[®] penetrierte nur sehr oberflächlich in den Läsionskörper. Adper Prompt L-Pop[®] zeigte hingegen sehr inhomogene Versiegler-schichten mit ausgeprägten Sauerstoffinhibitionsschichten bei relativ großer Penetrationstiefe. Im Vergleich zu den mit einem 20× Objektiv visualisierten Proben aus Abschnitt 1 zeigen die in diesem Abschnitt mit einem 40× Objektiv dargestellten Läsionen deutlicher die Prismenstrukturen anhand derer die Läsionstiefen bestimmt wurde.

5.2.2. Progression der Läsionstiefe

Die unbehandelten Läsionen der Effekthälften zeigten eine mittlere Läsionstiefe (Standardabweichung) von 155 (22) µm sowie eine Läsionsprogression von 64 (35) %. Zwischen den Gruppen 1-6 bestanden hinsichtlich der Progression der Kontrollläsionen keine signifikanten Unterschiede ($p \geq 0,05$; t-Test).

Helioseal[®], Heliobond[®], Resulcin Monobond[®] und Excite[®] waren bezüglich der Inhibierung der Progression der Läsionstiefe vergleichbar ($p \geq 0,05$; Bonferroni). Nach 30 s Penetrationszeit konnten diese vier Materialien ein Voranschreiten der Läsionstiefe signifikant besser verhindern als Solobond M[®] und Adper Prompt L-Pop[®] (Tab. 13).

Tab. 13: Progression der Läsionstiefe (µm) bei weiterer Demineralisation nach 15 s bzw. 30 s

Material	15 s Penetrationszeit			30 s Penetrationszeit		
	MW	S	Sig.	MW	S	Sig.
Helioseal [®]	31	19	ABC	13	13	A
Heliobond [®]	22	20	A	9	6	A
Resulcin Monobond [®]	9	9	A	12	9	A
Excite [®]	28	31	AB	3	16	A
Solobond M [®]	67	37	C	45	27	B
Adper Prompt L-Pop [®]	60	23	BC	51	34	B

Mittelwerte (MW), Standardabweichungen (S) und signifikante Unterschiede (Sig).

Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen ($p < 0,05$; Bonferroni).

Die Materialien Helioseal[®], Heliobond[®], Resulcin Monobond[®] und Excite[®] zeigten sowohl bei 15 s als auch 30 s Penetrationsdauer eine signifikante Verminderung der Läsionsprogression im Vergleich zur Kontrolle ($p < 0,05$; t-Test). Durch eine Verlängerung der Penetrationszeit konnte die Läsionsprogression nur bei Heliobond[®] und Excite[®] signifikant verringert werden ($p < 0,05$; t-Test) (Abb. 33).

Sowohl nach 15 s als auch nach 30 s Penetration bildete Adper Prompt L-Pop[®] signifikant dickere Sauerstoffinhibitionsschichten als Solobond M[®] aus ($p < 0,05$; Bonferroni). Alle anderen Materialien zeigten vergleichbar dünne Oberflächenschichten wie Solobond M[®] ($p \geq 0,05$; Bonferroni).

Die qualitative Darstellung verdeutlicht das Voranschreiten der Kontrollläsion sowie einer mit Adper Prompt L-Pop[®] versiegelten Läsion nach der zweiten Demineralisationsperiode. Excite[®] konnte eine Läsionsprogression hingegen vollständig verhindern (Abb. 34).

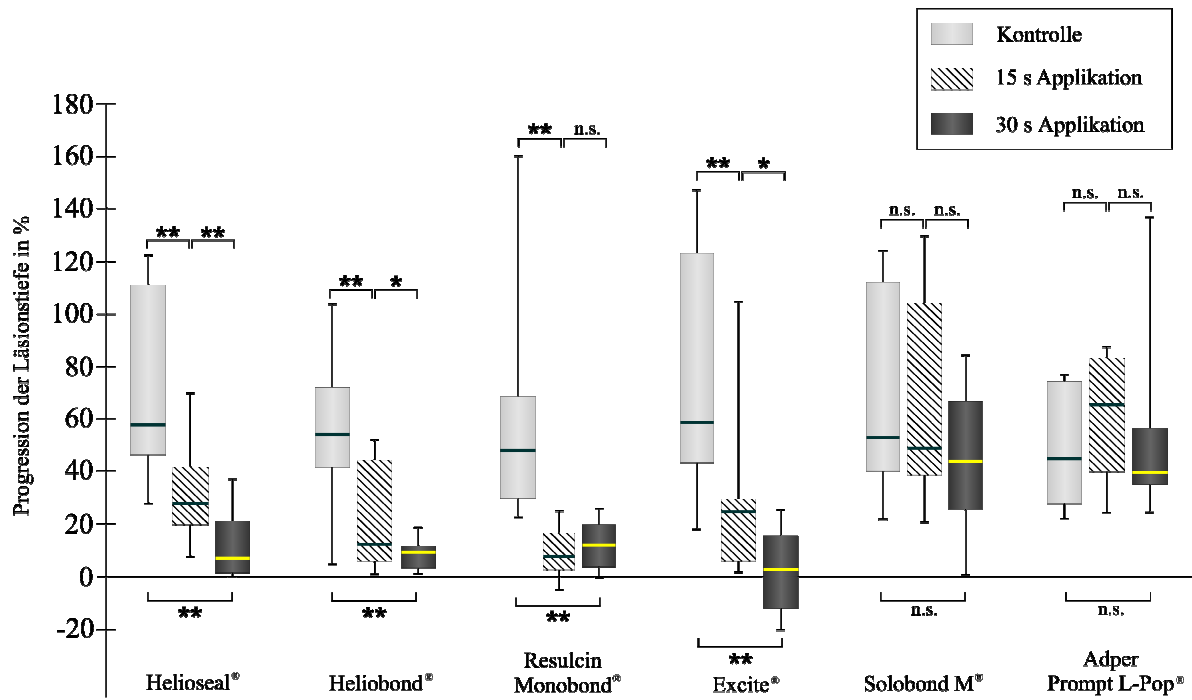


Abb. 33: Box-and-whiskers-plots der prozentualen Progression der Läsionstiefen der unbehandelten Läsionen (hellgrau) sowie der versiegelten Läsionen mit 15 s (schraffiert) und 30 s (dunkelgrau) Penetrationszeit. Signifikante Unterschiede zwischen den gepaarten Gruppen sind mit Sternen gekennzeichnet ($p \geq 0,05$ n.s.; $p < 0,05$ *; $p < 0,01$ **; t-Test).

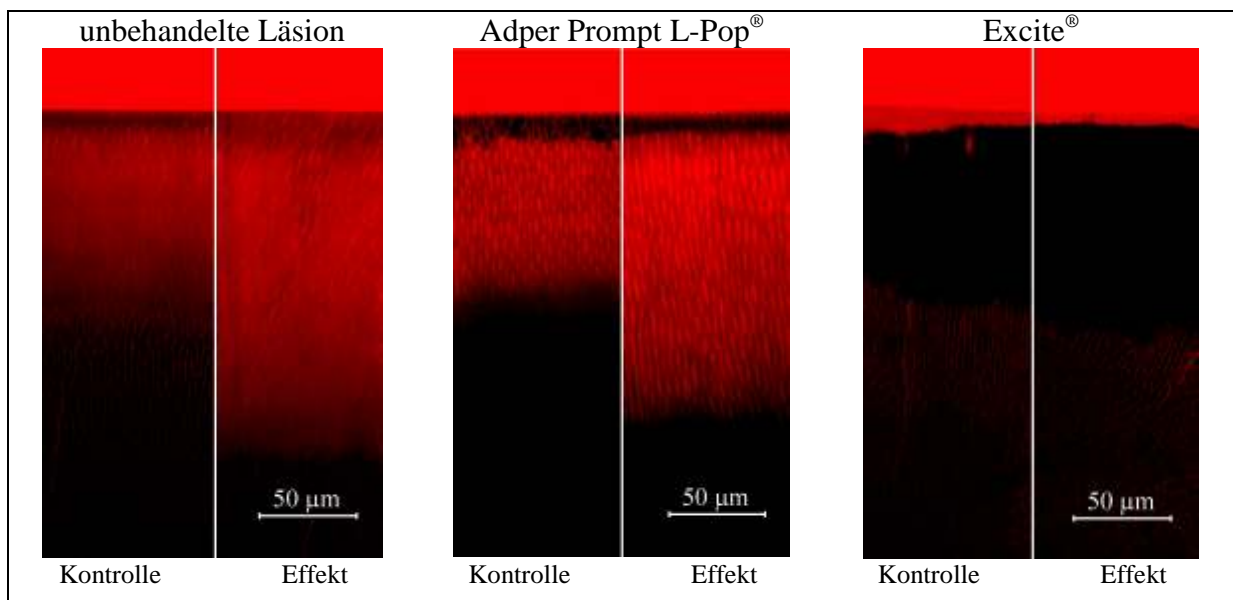


Abb. 34: *Links:* In der unbehandelten Kontrollgruppe war eine deutliche Progression der Läsionstiefe festzustellen. *Mitte:* Die Versiegelung mit Adper Prompt L-Pop® konnte aufgrund der schlechten Penetration eine Progression der Läsionstiefe nicht verhindern. *Rechts:* Das Material Excite® füllte den Läsionskörper vollständig aus. Eine Progression der Läsionstiefe durch die zweite Demineralisationsperiode fand nicht statt.

5.3. Abschnitt 2b: Einfluss der Applikationshäufigkeit auf die Penetration verschiedener Adhäsivsysteme und eines Fissurenversieglers in künstliche kariöse Läsionen sowie die Läsionsprogression *in vitro*

5.3.1 Penetration der Materialien

Die mittleren (Standardabweichung) Läsionstiefen (Strecke III) der Kontrollläsionen betrugen 105 (21) μm . Die maximalen Tiefen (Strecke IV) wurden mit 237 (53) μm gemessen. Beide Variablen unterschieden sich nicht signifikant zwischen den Gruppen ($p \geq 0,05$; Bonferroni). Die Penetrationstiefen der sechs Materialien konnten durch zweimaliges Auftragen nicht signifikant gesteigert werden ($p \geq 0,05$; Bonferroni) (Abb. 35).

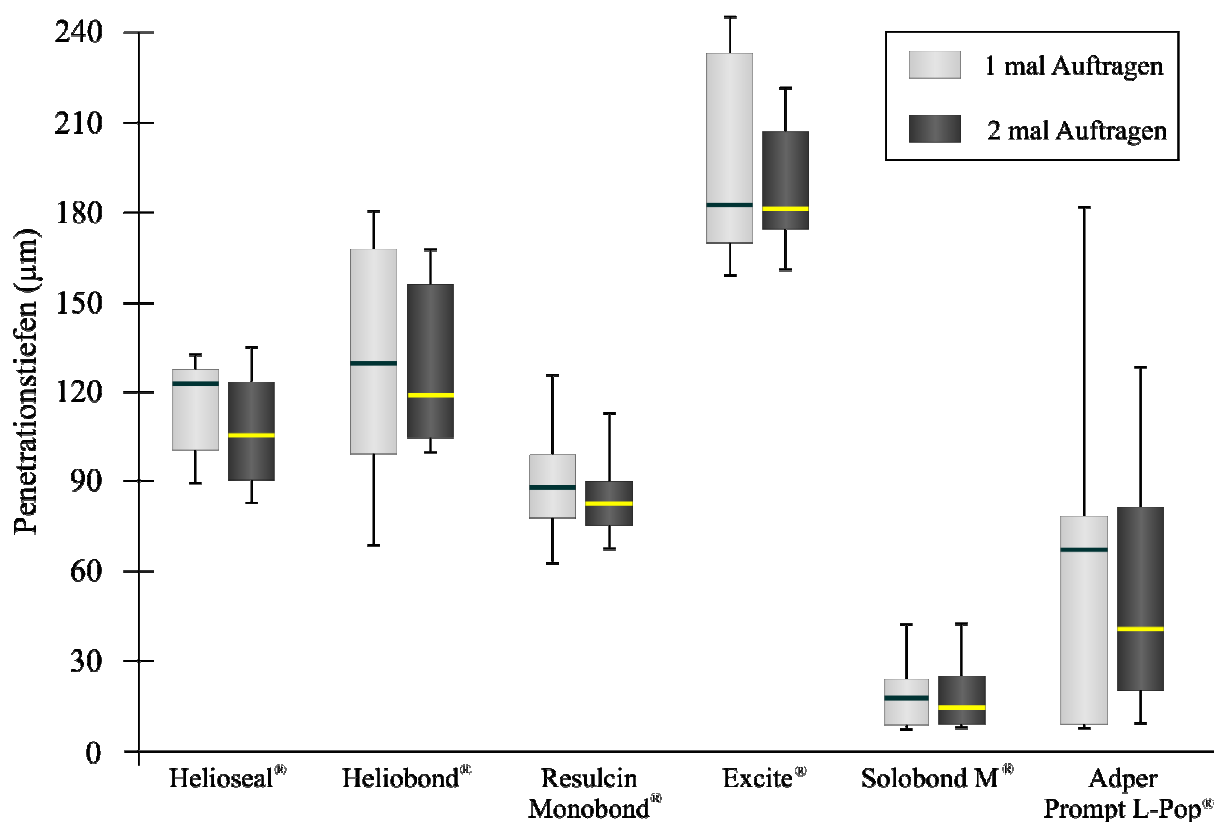


Abb. 35: Box-and-whiskers-plots der Penetrationstiefen nach ein- bzw. zweimaliger Applikation. Eine Verlängerung der Applikationszeit führte bei keinem Material zu einer signifikanten Veränderung der Penetrationstiefe ($p \geq 0,05$; t-Test).

Excite® penetrierte bezogen auf die Strecke III (Läsionskörper) bei einmaliger Applikation 184 (40) % der Läsionen und somit signifikant tiefer als alle anderen Materialien ($p < 0,05$; Bonferroni). Heliobond® und Helioseal® penetrierten nahezu vollständig den Läsionskörper. Signifikant schlechter drangen dagegen Adper Prompt L-Pop® und Solobond M® in die Läsionen ein ($p < 0,05$).

Nach einmaliger Applikation bildeten Excite® und Adper Prompt L-Pop® signifikant dickere Sauerstoffinhibitionsschichten als Solobond M® aus ($p < 0,05$; Bonferroni). Nach zweimaliger Applikation verringerten sich bei Excite® bzw. Adper Prompt L-Pop® die Dicken der Sauerstoffinhibitionsschichten signifikant ($p < 0,05$; t-Test) und waren somit mit denen der anderen Materialien vergleichbar ($p \geq 0,05$; Bonferroni).

Abbildung 36 zeigt exemplarisch die Versiegler-schichten der sechs verwendeten Materialien sowie die Ausdehnung einer Kontrollläsion.

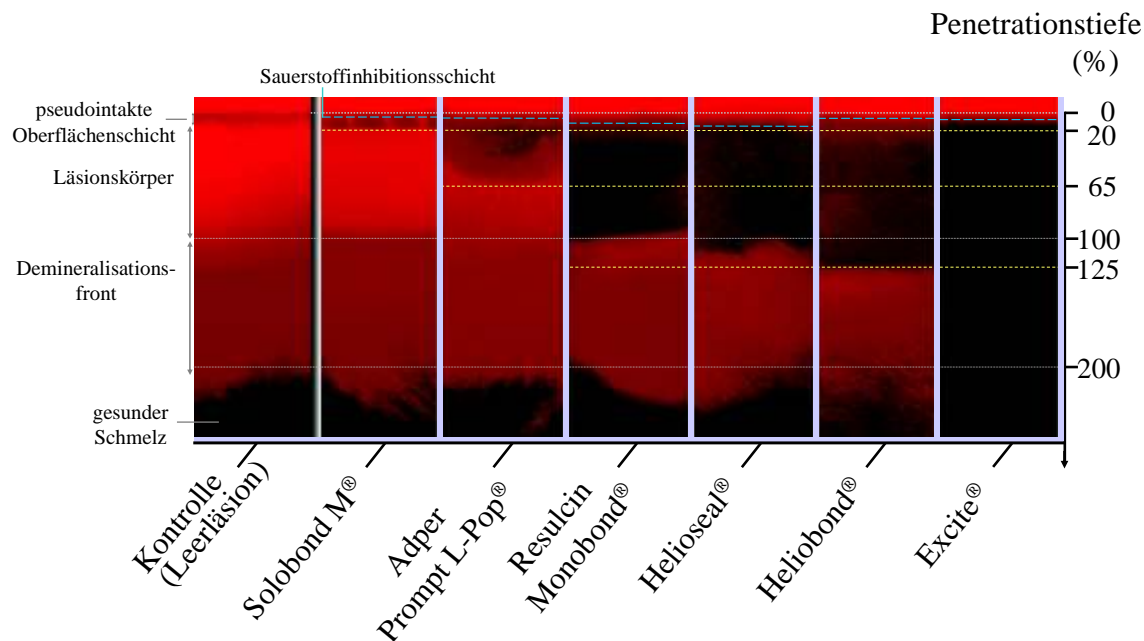


Abb. 36: Exemplarische CLSM-Aufnahmen einer Kontrollläsion sowie aller verwendeter Materialien nach zweimaliger Applikation. Neben einer dezent ausgeprägten Sauerstoffinhibitionsschicht erkennt man bei allen Materialien eine homogene Versiegelungsschicht (dunkle Bereiche), die bei den Materialien Heliobond® und Excite® bis in die Demineralisationsfront vorgedrungen ist.

5.3.2. Progression der Läsionstiefe

Die unbehandelten Läsionen der Effekthälften zeigten mittlere Läsionstiefen (Standardabweichung) von 156 (29) μm und somit eine Läsionsprogression von 52 (31) %. Zwischen den Gruppen bestanden hinsichtlich der Progression der Läsionstiefen der Kontrollflächen keine signifikanten Unterschiede ($p \geq 0,05$; t-Test). Heliioseal®, Heliobond®, Resulcin Monobond® und Excite® verhielten sich bezüglich der Inhibierung der Progression der Läsionstiefe vergleichbar ($p \geq 0,05$; Bonferroni) und konnten ein Voranschreiten der Läsionstiefe signifikant besser verhindern als die Materialien Solobond M® und Adper Prompt L-Pop® (Tab. 14).

Tab. 14: Progression der Läsionstiefe (µm) nach der zweiten Demineralisation

Material	1 mal Auftragen			2 mal Auftragen		
	MW	S	Sig.	MW	S	Sig.
Helioseal®	0	0	A	0	0	A
Heliobond®	0	1	A	0	0	A
Resulcin Monobond®	10	18	A	4	11	A
Excite®	0	0	A	0	0	A
Solobond M®	32	29	B	2	12	B
Adper Prompt L-Pop®	47	17	B	27	28	B

Mittelwerte (MW), Standardabweichungen (S) und signifikante Unterschiede (Sig). Gruppen mit unterschiedlichen Buchstaben unterscheiden sich signifikant voneinander (p < 0,05; Bonferroni).

Adper Prompt L-Pop® und Solobond M® zeigten nach einmaligem Auftragen keine signifikante inhibitorische Wirkung auf die Läsionsprogression (p ≥ 0,05; t-Test). Die zweimalige Applikation von Solobond M® führte im Gegensatz zu Adper Prompt L-Pop® zu einer signifikanten Verminderung der Läsionsprogression (p < 0,05; t-Test) (Abb. 37).

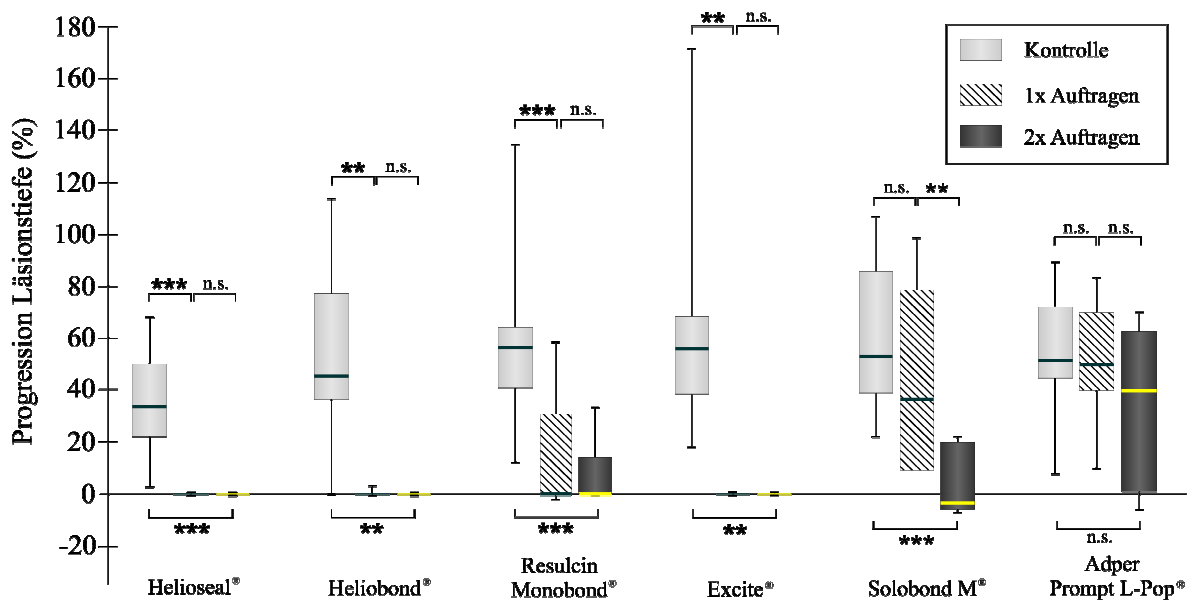


Abb. 37: Prozentuale Progression der Läsionstiefen (Strecke III) der unbehandelten Läsionen (hell) sowie der versiegelten Läsionen nach einmaliger (schraffiert) bzw. zweimaliger (dunkel) Applikation. Signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen sind mit Sternen gekennzeichnet (p ≥ 0,05 n.s.; p < 0,05 *; p < 0,01 **; p < 0,001 ***; t-Test).

5.4. Abschnitt 3a: Penetrationskoeffizienten der in Abschnitt 2 verwendeten Materialien sowie der experimentellen Infiltranten

Experimentelle Infiltranten

Die größten Unterschiede zwischen den experimentellen Infiltranten wurden hinsichtlich der Viskosität gefunden (3-6637 mPa·s). Materialien mit hohen Konzentrationen an HEMA und TEGDMA zeigten tendenziell niedrigere Viskositäten sowie höhere Penetrationskoeffizienten, während bei Materialien mit BisGMA bzw. UDMA ein umgekehrter Effekt beobachtet werden konnte. Fünf der hauptsächlich aus BisGMA bzw. UDMA bestehenden Materialien waren aufgrund der bereits visuell erkennbaren hohen Viskositäten nicht mit den ausgewählten Methoden evaluierbar. Die Kontaktwinkel (3-54 °) variierten relativ stark zwischen den Materialien. Allerdings hatte der Kontaktwinkel nur geringe Auswirkungen auf die Penetrationskoeffizienten, da deren Werte nur im Kosinus in die Berechnung des Koeffizienten eingehen.

Durch die Zugabe von Ethanol wurden die Kontaktwinkel, Oberflächenspannungen und die Viskositäten verringert, so dass der Penetrationskoeffizient erhöht wurde. Der höchste Penetrationskoeffizient wurde für Kombinationen von TEGDMA, HEMA und 20 % Ethanol bestimmt. Materialien mit hohen HEMA- und Ethanol- Konzentrationen konnten nicht suffizient gehärtet werden (Tab. 15).

Tab. 15: Zusammensetzung (Gew.%) und Messergebnisse (Standardabweichungen) des Kontaktwinkels, der Oberflächenspannung, der dynamischen Viskosität sowie der aus diesen drei Werten resultierenden Penetrationskoeffizienten (PK) der verwendeten Infiltranten. Darüber hinaus sind die Konsistenzen nach 30 s Lichthärtung angegeben.

Nr	BisGMA (%)	TEGDMA (%)	HEMA (%)	UDMA (%)	Ethanol (%)	Kontaktwinkel θ		Viskosität η (mPa s)	Oberflächen- spannung γ (mN/m)	PK (cm/s)	Konsistenz
						(°C)	(cos)				
1	100					*	*	*	*	*	hart
2	90				10	54,2 (2,5)	0,58	6637,0 (1,2)	40,6 (0,1)	0,2	hart
3	80				20	47,8 (0,9)	0,67	750,3 (2,3)	34,7 (0,1)	1,6	hart
4		100				7,0 (0,4)	0,99	8,4 (0,0)	34,7 (0,0)	204,1	hart
5		90			10	3,7 (0,1)	1,00	5,8 (0,0)	31,5 (0,0)	273,1	hart
6		80			20	3,2 (0,1)	1,00	3,6 (0,0)	28,0 (0,0)	390,7	hart
7			100			11,0 (0,6)	0,98	5,2 (0,0)	34,6 (0,0)	326,8	hart
8			90		10	7,5 (0,5)	0,99	4,0 (0,0)	32,1 (0,0)	393,8	viskös
9			80		20	4,2 (0,4)	1,00	3,2 (0,0)	30,2 (0,0)	474,9	flüssig
10				100		44,9 (3,2)	0,71	*	*	*	hart
11				90	10	33,6 (0,6)	0,83	412,0 (9,7)	35,4 (0,0)	3,6	hart
12				80	20	32,5 (1,0)	0,84	84,5 (0,0)	33,3 (0,0)	16,6	hart
13	75	25				30,5 (1,2)	0,86	3345,7 (4,0)	38,4 (0,0)	0,5	hart
14	67,5	22,5			10	23,8 (0,8)	0,91	272,2 (0,3)	35,5 (0,0)	6,0	hart
15	60	20			20	17,0 (0,5)	0,96	59,0 (0,0)	30,1 (0,1)	24,4	hart

16	50	50			26,1 (2,9)	0,90	186,4 (0,1)	36,5 (0,0)	8,8	hart
17	45	45		10	20,8 (1,6)	0,93	31,4 (0,0)	33,2 (0,0)	49,4	hart
18	40	40		20	10,1 (0,1)	0,98	16,4 (0,0)	30,3 (0,0)	91,1	hart
19	25	75			16,9 (0,9)	0,96	26,9 (0,0)	35,5 (0,0)	63,3	hart
20	22,5	67,5		10	5,1 (0,7)	1,00	12,7 (0,0)	33,0 (0,0)	129,3	hart
21	20	60		20	5,0 (0,9)	1,00	7,8 (0,0)	29,1 (0,0)	185,4	hart
22	75		25		33,2 (1,2)	0,84	2344,1 (2,4)	38,3 (0,0)	0,7	hart
23	67,5		22,5	10	29,7 (1,1)	0,87	243,5 (0,2)	34,9 (0,0)	6,2	hart
24	60		20	20	28,6 (2,2)	0,88	60,8 (0,2)	30,5 (0,0)	22,1	hart
25	50		50		14,4 (0,2)	0,97	52,4 (0,2)	36,3 (0,0)	33,6	hart
26	45		45	10	12,4 (0,8)	0,98	37,2 (0,0)	33,3 (0,0)	43,6	hart
27	40		40	20	5,5 (0,8)	1,00	17,7 (0,0)	30,8 (0,0)	86,7	hart
28	25		75		14,4 (1,9)	0,97	18,5 (0,0)	35,4 (0,0)	92,7	hart
29	22,5		67,5	10	8,9 (1,0)	1,00	10,9 (0,0)	32,5 (0,0)	149,3	hart
30	20		60	20	5,1 (0,3)	1,00	7,0 (0,0)	30,4 (0,0)	216,5	galertig
31	75		25		53,9 (2,2)	0,59	*	*	*	hart
32	67,5		22,5	10	49,1 (3,0)	0,65	1919,8 (26,4)	38,7 (0,0)	0,7	hart
33	60		20	20	44,7 (0,7)	0,71	238,1 (0,2)	30,8 (0,0)	4,6	hart
34	50		50		52,2 (3,4)	0,61	*	*	*	hart
35	45		45	10	41,3 (1,0)	0,75	1350,4 (2,4)	36,9 (0,1)	1,0	hart
36	40		40	20	38,9 (0,2)	0,78	156,3 (0,2)	30,6 (0,0)	7,6	hart
37	25		75		48,0 (3,0)	0,67	*	*	*	hart
38	22,5		67,5	10	39,1 (1,3)	0,78	737,3 (0,7)	35,8 (0,0)	1,9	hart
39	20		60	20	35,6 (5,6)	0,81	123,8 (0,1)	30,8 (0,0)	10,1	hart
40		75	25		7,5 (0,1)	0,99	7,2 (0,0)	34,5 (0,0)	237,9	hart
41		67,5	22,5	10	4,8 (1,0)	1,00	4,9 (0,0)	32,3 (0,0)	332,1	hart
42		60	20	20	3,6 (0,9)	1,00	3,4 (0,0)	30,0 (0,0)	433,0	hart
43		50	50		8,3 (0,5)	0,99	6,6 (0,0)	34,6 (0,0)	259,6	hart
44		45	45	10	4,9 (0,6)	1,00	4,4 (0,0)	32,0 (0,0)	363,8	hart
45		40	40	20	4,1 (0,9)	1,00	3,5 (0,0)	30,0 (0,0)	429,9	galertig
46		25	75		9,1 (0,9)	0,99	6,1 (0,0)	34,6 (0,0)	277,6	hart
47		22,5	67,5	10	7,1 (0,7)	0,99	4,2 (0,0)	32,2 (0,0)	382,4	hart
48		20	60	20	4,1 (0,2)	1,00	3,3 (0,0)	30,0 (0,0)	456,5	weich
49		25	75		33,3 (1,2)	0,84	603,3 (2,0)	34,9 (0,0)	2,4	hart
50		22,5	67,5	10	28,5 (1,1)	0,88	83,4 (0,4)	33,6 (0,0)	17,7	hart
51		20	60	20	19,8 (0,7)	0,94	29,5 (0,1)	29,8 (0,1)	47,5	hart
52		50	50		27,0 (1,6)	0,89	80,9 (5,9)	35,2 (0,3)	19,4	hart
53		45	45	10	11,4 (0,7)	0,98	25,5 (0,1)	32,3 (0,0)	62,0	hart
54		40	40	20	6,1 (0,5)	0,99	13,0 (0,0)	29,4 (0,0)	112,5	hart
55		75	25		9,2 (9,2)	0,99	21,4 (0,0)	35,2 (0,0)	81,0	hart
56		67,5	22,5	10	7,8 (0,5)	1,00	9,3 (0,1)	31,8 (0,0)	171,0	hart
57		60	20	20	5,9 (1,2)	0,99	6,9 (0,0)	29,2 (0,0)	211,6	hart
58			25	75	32,3 (1,5)	0,84	357,4 (0,2)	36,5 (0,0)	4,3	hart
59			22,5	67,5	11,7 (0,4)	0,98	71,7 (0,1)	33,2 (0,0)	22,7	hart
60			20	60	9,0 (1,4)	0,99	33,6 (0,0)	30,6 (0,0)	45,0	hart
61			50	50	12,1 (1,2)	0,98	52,5 (0,0)	36,0 (0,0)	33,5	hart
62			45	45	10,3 (1,5)	0,98	20,3 (0,0)	32,6 (0,0)	79,1	hart
63			40	40	4,3 (0,3)	1,00	10,8 (0,0)	30,2 (0,0)	139,9	galertig
64			75	25	11,3 (1,2)	0,98	12,9 (0,0)	35,2 (0,1)	134,3	hart
65			67,5	22,5	8,1 (1,0)	0,99	9,1 (0,0)	32,5 (0,0)	177,9	hart
66			60	20	4,4 (0,1)	1,00	6,3 (0,0)	30,4 (0,0)	239,5	galertig

Die Gruppen 4-6 sowie 13-21 (weiße Schrift) wurden in weiteren Versuchen hinsichtlich Ihrer Infiltrationseigen-
schaften untersucht (Abschnitt 3b); *Werte nicht bestimmbar.

Kommerziell erhältliche Produkte

Die Kontaktwinkel (Standardabweichung) zu Schmelz lagen mit Werten zwischen 2,8 (0,2)[°] bei Solobond M[®] und 24 (0,3)[°] bei Adper Prompt L-Pop[®] relativ weit auseinander (Abb. 38A), während die Oberflächenspannungen (B) vergleichbar waren. Die dynamischen Viskositäten (C) der Produkte mit Aceton (Solobond M[®]), Ethanol (Excite[®]) sowie Wasser (Adper Prompt L-Pop[®]) als Lösungsmittel waren geringer im Vergleich zu den anderen drei Materialien, die die größten Penetrationskoeffizienten (D) aufwiesen.

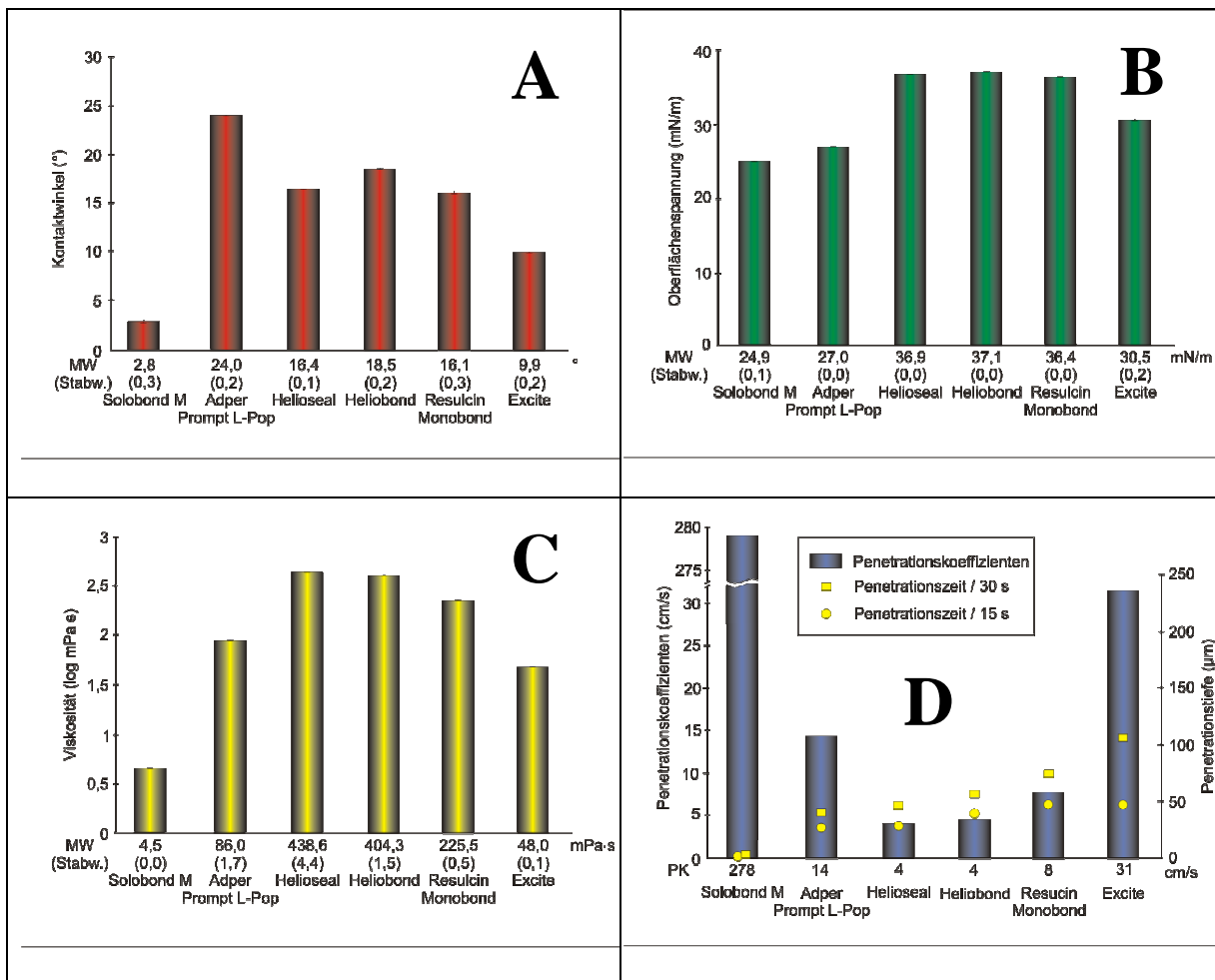


Abb. 38: Messwerte (Standardabweichung) der Kontaktwinkel, Oberflächenspannungen und dynamischen Viskositäten (A-C) sowie die hieraus errechneten Penetrationskoeffizienten der kommerziell erhältlichen Materialien (D). Die in Abschnitt 2a ermittelten Penetrationstiefen nach 15 s bzw. 30 s wurden zur Veranschaulichung ebenfalls dargestellt. Hierbei zeigten die Koeffizienten von vier der Materialien eine Abhängigkeit von den Penetrationstiefen. Dies war bei Solobond M[®] und Adper Prompt L-Pop[®] nur bedingt der Fall.

5.5. Abschnitt 3b: Penetrationstiefen verschiedener experimenteller Infiltranten in künstliche kariöse Läsionen sowie deren Einfluss auf die Verhinderung der Kariesprogression *in vitro*

5.5.1. Penetration der Materialien

Anhand der CLSM-Bilder wurde im Bereich der Kontrollläsionen eine mittlere Läsionstiefe (Standardabweichung) von 294 (58) μm ($n = 147$) gemessen. Die mikroradiografische Auswertung (TMR) ergaben eine mittlere Läsionstiefen (LT) von 296 (61) μm ($n = 143$) und einen Mineralverlust (MV) von 10.600 (3.520) $\text{Vol.}\% \times \mu\text{m}$ ($n = 138$). Zwischen diesen drei Variablen konnten hohe Korrelationskoeffizienten (Pearson Korrelation) berechnet werden; der Intraklassenkorrelationskoeffizient (IKK) der beiden Läsionstiefenmessungen war vergleichbar mit der Korrelation nach Pearson (Tab. 16). Die Kontrollbereiche der Proben waren hinsichtlich der drei genannten Variablen zwischen den 13 Gruppen vergleichbar ($p \geq 0,05$; ANOVA). Nur für die Variable Penetrationstiefe lag eine Abweichung von einer Normalverteilung vor ($p < 0,05$; Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest).

Tab. 16: Pearson’s Korrelations- (r) sowie Intraklassenkorrelationskoeffizienten (IKK) (nur für LT) der drei Variablen gemessen anhand der Kontrollbereiche

Kontrollbereiche	Läsionstiefe CLSM		Läsionstiefe TMR	Mineralverlust TMR
Statistik	r	IKK		
Läsionstiefe CLSM	1			
Läsionstiefe TMR	0,682	0,681	1	
Mineralverlust TMR	0,617	--	0,782	1

Nach 10 s Penetrationszeit zeigten die Materialien 10 [280 (58) μm], 11 [273 (47) μm] und 12 [305 (97) μm] bereits sehr große mittlere Penetrationstiefen (Standardabweichung). Nach 22 s penetrierten die Materialien 8 [304 (65) μm] und 9 [304 (65) μm] ebenfalls die Läsionen vollständig. Nach 40 s zeigte darüber hinaus keine der anderen Gruppen eine ähnlich fortgeschrittene Penetration. Durch die Verlängerung der Zeit von 10 s auf 22 s wurden die Penetrationstiefen der Materialien Excite[®], 2, 3 sowie 5-9 signifikant gesteigert ($p < 0,05$; Wilcoxon-Test). Eine weitere Verlängerung der Zeit auf 40 s führte bei allen Materialien außer 10-12 zu keiner signifikanten Steigerung der Penetration ($p < 0,05$; Wilcoxon-Test) (Abb. 39).

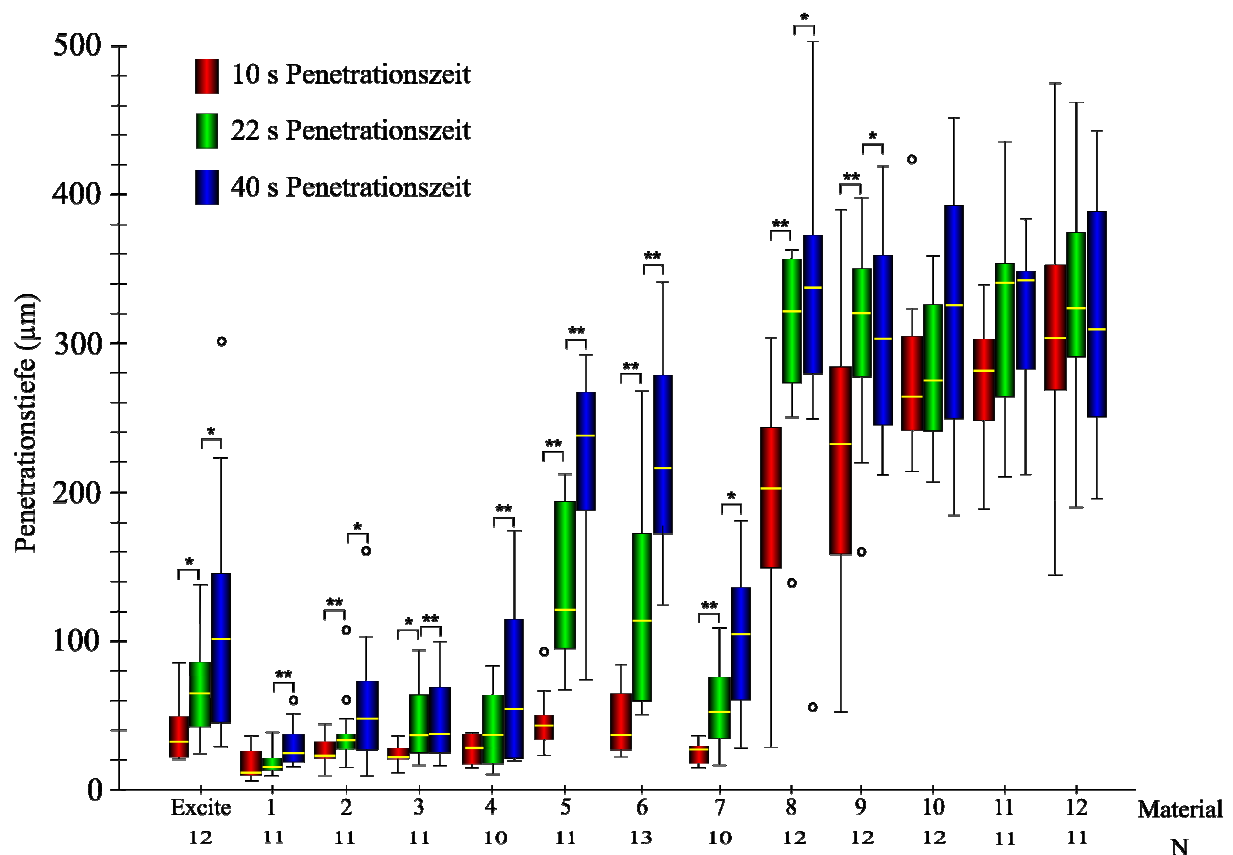


Abb. 39: Penetrationstiefen (µm) der Materialien nach 10 s (rot), 22 s (grün) und 40 s (blau) Penetrationszeit. Dargestellt sind box-and-whiskers-plots mit den jeweiligen Quartilen sowie Medianen (gelb). Signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen sind mit Sternen gekennzeichnet ($p < 0,05$ *; $p < 0,01$ **; Wilcoxon-Test).

Bezüglich der Penetrationstiefen in Relation zu den Läsionstiefen zeigten bei 10 s Penetrationsdauer die Materialien 10-12 signifikant höhere Werte im Vergleich zu fast allen anderen Kunststoffen ($p < 0,05$; adjustierter Mann-Whitney-Test). Nach 22 s penetrierten die Materialien 8-12, nach 40 s zusätzlich die Materialien 5 und 6 signifikant besser im Vergleich zu den sonstigen verwendeten Materialien ($p < 0,05$). Excite® zeigte auch nach 40 s nur eine Penetration von 40 (30) % der Läsionstiefen (Tab. 17).

Tab. 17: Prozentuale Penetrationstiefe in Relation zur Läsionstiefe

Penetrationszeit (s)				10			22			40		
Nr.	BisGMA	TEGDMA	Ethanol	MW	S	Sig.	MW	S	Sig.	MW	S	Sig.
Excite®				13	7	C	23	12	BC	40	29	D
1	75	25	-	6	3	C	8	3	C	11	4	D
2	67,5	22,5	10	9	5	C	16	13	C	21	17	D
3	60	20	20	9	2	C	16	7	C	19	10	D
4	50	50	-	10	3	C	14	8	C	26	19	D
5	45	45	10	16	5	C	45	15	B	78	21	C
6	40	40	20	18	11	C	44	24	B	81	17	BC
7	25	75	-	10	4	C	21	11	BC	35	19	D
8	22,5	67,5	10	62	31	B	101	24	A	97	27	ABC
9	20	60	20	81	34	AB	106	25	A	111	21	AB
10	0	100	-	100	10	A	97	12	A	107	27	ABC
11	0	90	10	105	11	A	118	26	A	116	26	A
12	0	80	20	104	34	A	112	22	A	107	28	ABC

Mittelwerte (MW), Standardabweichungen (S) und Signifikanzen (Sig.) der prozentualen Penetrationstiefen nach 10 s, 22 s bzw. 40 s. Gruppen mit unterschiedlichen Buchstaben unterscheiden sich signifikant voneinander ($p < 0,05$; adjustierter Mann-Whitney-Test).

Die exemplarischen CLSM-Aufnahmen verdeutlichen die unterschiedlichen Penetrationseigenschaften des Materials 10 sowie des Adhäsivsystems Excite® (Abb. 40).

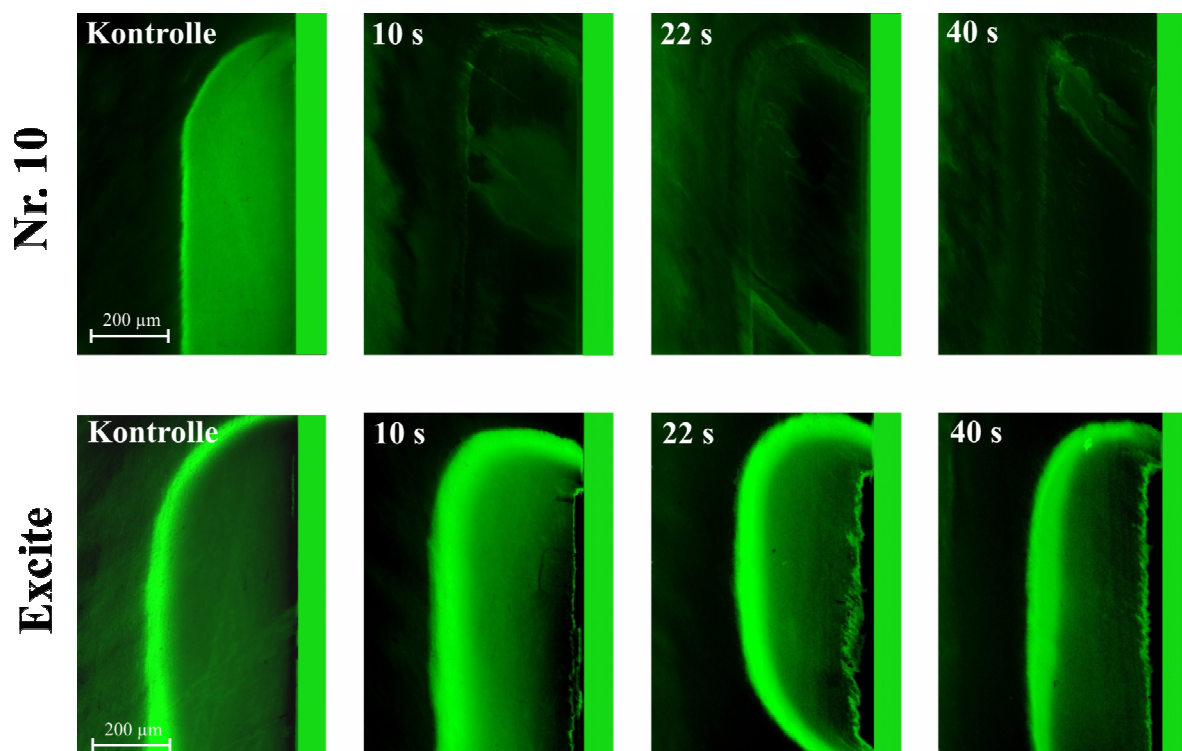


Abb. 40: Die exemplarischen CLSM-Bilder einer Probe, die mit Material Nr. 10 behandelt wurde, zeigen bei allen drei Zeiten eine teilweise inhomogene Schicht, die den gesamten Läsionskörper durchdrungen hat, während Excite® vergleichsweise weniger tief in der Läsion penetrieren konnte. Die Flächen über den Oberflächen sind zur besseren Veranschaulichung grün abgedeckt.

5.5.2. Progression der Läsionen

Die anhand der TMR- bzw. CLSM-Bilder bestimmten Läsionstiefen sowie die Mineralverluste (nur TMR) waren nach Lagerung der Proben in der Demineralisationslösung für weitere 50 Tage signifikant erhöht ($p < 0,05$; t-Test), wobei die prozentuale Erhöhung der Läsionstiefen untereinander vergleichbar war ($p \geq 0,05$; t-Test), während der Mineralverlust eine signifikant größere Progression im Vergleich zu den gemessenen Läsionstiefen aufwies ($p < 0,05$; t-Test) (Tab. 18).

Tab. 18: Läsionstiefen in μm (CLSM und TMR) sowie Mineralverluste in $\text{Vol.}\% \times \mu\text{m}$ (TMR) der Kontrollflächen aller auswertbaren Proben vor und nach der zweiten Demineralisation sowie die prozentuale Erhöhung der drei Variablen

Variable	vorher			nachher			Differenz %		
	MW	S	N	MW	S	N	MW	S	N
Läsionstiefe CLSM	294	58	147	423	74	147	49	40	147
Läsionstiefe TMR	296	61	143	416	65	125	47	37	119
Mineralverlust TMR	10.600	3.520	138	16.740	5.020	98	79	64	91

Mittelwerte (MW), Standardabweichungen (S) und Anzahl der gültigen Werte (N).

Die drei Variablen zeigten bezogen auf die Kontrollbereiche der Proben nach 100 Tagen vergleichbar gute Korrelationen wie nach 50 Tagen Demineralisation ($p < 0,01$; Pearson's Korrelation, Intraklassenkorrelationskoeffizient) (Tab. 19).

Tab. 19: Korrelationen der Variablen der Kontrollbereiche nach 100 Tagen Demineralisation

Kontrollbereiche nach 100 Tagen Demineralisation	Läsionstiefe CLSM		Läsionstiefe TMR	Mineralverlust TMR
	r	IKK	r	r
Läsionstiefe CLSM	1	1		
Läsionstiefe TMR	0,681	0,672	1	
Mineralverlust TMR	0,648	--	0,855	1

Anhand der Auswertung der CLSM-Bilder konnten bei den Materialien 8-12 bei allen drei Penetrationszeiten nur vereinzelt Läsionen mit voranschreitenden Läsionstiefen gefunden werden. Bei den Materialien 1, 3, 4 und 7 zeigten die Läsionen hingegen eine signifikante Progression bei allen drei Zeiten ($p < 0,05$); allerdings demineralisierten die infiltrierten Proben aller Gruppen weniger stark im Vergleich zu den unbehandelten Kontrollen. Diese Tendenzen konnte auch anhand der mikroradiografischen Aufnahmen bestätigt werden.

Hierbei zeigten die Gruppen 8-12 allerdings deutlichere, zum Teil signifikante Veränderungen der Läsionstiefen durch die Lagerung in demineralisierendem Milieu ($p < 0,05$) (Abb. 41).

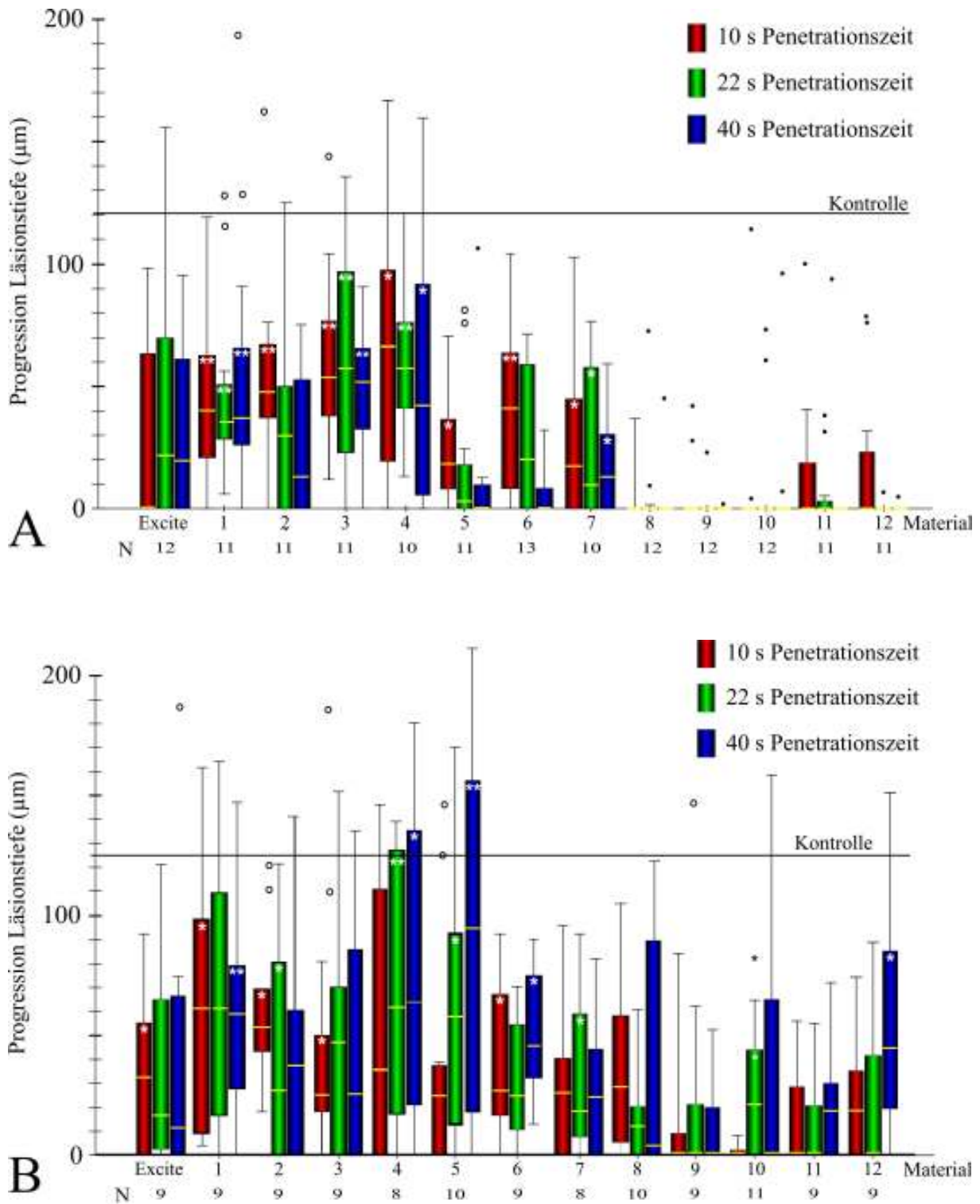


Abb. 41: Box-and-whiskers-plots mit den jeweiligen Quartilen sowie Medianen (gelb) der Progressionen der Läsionstiefen (µm) ausgewertet anhand der CLSM- (A) sowie der TMR-Bilder (B) nach Penetrationszeiten von 10 s (rot), 22 s (grün) und 40 s (blau). Signifikante Unterschiede zwischen den Werten vor und nach der Demineralisation sind mit weißen Sternen gekennzeichnet ($p < 0,05^*$; $p < 0,01^{**}$; t-Test).

Die prozentuale Progression der infiltrierten Läsionen in Relation zu den jeweiligen Läsionstiefen nach 50 Tagen Demineralisation lagen bei Auswertung mit dem CLSM zwischen 0 und 24 % [Kontrollen: 49 (40) %]. Die Materialien 6, 8, 9, 11 und 12 zeigten nach der längsten evaluierten Penetrationszeit (40 s) die geringsten Progressionen (≤ 1 %), die signifikant geringer waren im Vergleich zu den Materialien 3 und 4 (Tab. 20).

Tab. 20: Prozentuale Progression der Läsionstiefen in Relation zu den jeweiligen Kontrollhälften, die anhand der CLSM-Aufnahmen bestimmt wurden

Penetrationszeit (s)				10			22			40		
Nr.	BisGMA	TEGDMA	Ethanol	MW	S	Sig.	MW	S	Sig.	MW	S	Sig.
Excite®				4	17	ABC	10	20	ABC	6	16	ABC
1	75	25	-	16	16	ABC	16	13	ABC	17	15	ABC
2	67,5	22,5	10	21	23	BC	13	24	ABC	8	13	ABC
3	60	20	20	24	15	C	24	18	C	21	16	C
4	50	50	-	24	25	BC	21	15	BC	20	24	BC
5	45	45	10	7	10	ABC	4	13	AB	2	14	AB
6	40	40	20	15	15	ABC	8	13	AB	0	8	A
7	25	75	-	9	11	ABC	8	11	ABC	6	7	ABC
8	22,5	67,5	10	0	7	A	2	9	AB	1	4	A
9	20	60	20	1	8	AB	0	3	A	0	2	A
10	0	100	-	4	13	ABC	3	9	AB	4	12	ABC
11	0	90	10	10	21	ABC	2	6	AB	1	3	A
12	0	80	20	7	11	ABC	0	1	A	0	1	A

Mittelwerte (MW), Standardabweichungen (S) und Signifikanzen (Sig.) der prozentualen Läsionstiefen nach 10 s, 22 s bzw. 40 s. Gruppen mit unterschiedlichen Buchstaben unterscheiden sich signifikant voneinander ($p < 0,05$; Bonferroni).

Die Kontrollbereiche der TMR-Aufnahmen zeigten eine vergleichbare Progression der Läsionstiefen [47 (37) %] aber eine deutlichere Veränderung des Mineralverlustes [79 (64) %] (Tab. 21). Der Vergleich der Läsionstiefen der Gruppen anhand der TMR-Aufnahmen der einzelnen Gruppen (keine Abbildung oder Tabelle) bestätigten die in Tabelle 19 dargestellten Messwerte. Allerdings wiesen die Gruppen 8-12 vergleichsweise größere Läsionsprogressionen auf; dies wird auch anhand der Abbildung 41 (vorherige Seite) deutlich. Die Veränderungen der Mineralverluste zeigten eine weitere Nivellierung der anhand der CLSM-Bilder gemessenen Unterschiede zwischen den Gruppen Excite® bzw. 1-4 und 8-12. Aufgrund der zum Teil sehr großen Mineralverluste nach 100 Tagen Demineralisation konnte nur ein Teil der Proben, die hinsichtlich der Läsionstiefe ($n = 119$) beurteilbar waren, diesbezüglich ausgewertet werden ($n = 91$). Deshalb wurde auf eine statistische Auswertung zwischen und innerhalb der drei Penetrationszeiten verzichtet und nur die zusammengefassten Penetrationszeiten statistisch überprüft. Nur die Proben, die mit Excite® sowie den

Materialien 2, 4, 5 und 6 penetriert wurden, wiesen eine signifikante Steigerung der Mineralverluste nach weiterer Säureexposition auf ($p < 0,05$; t-Test) (Abb. 42).

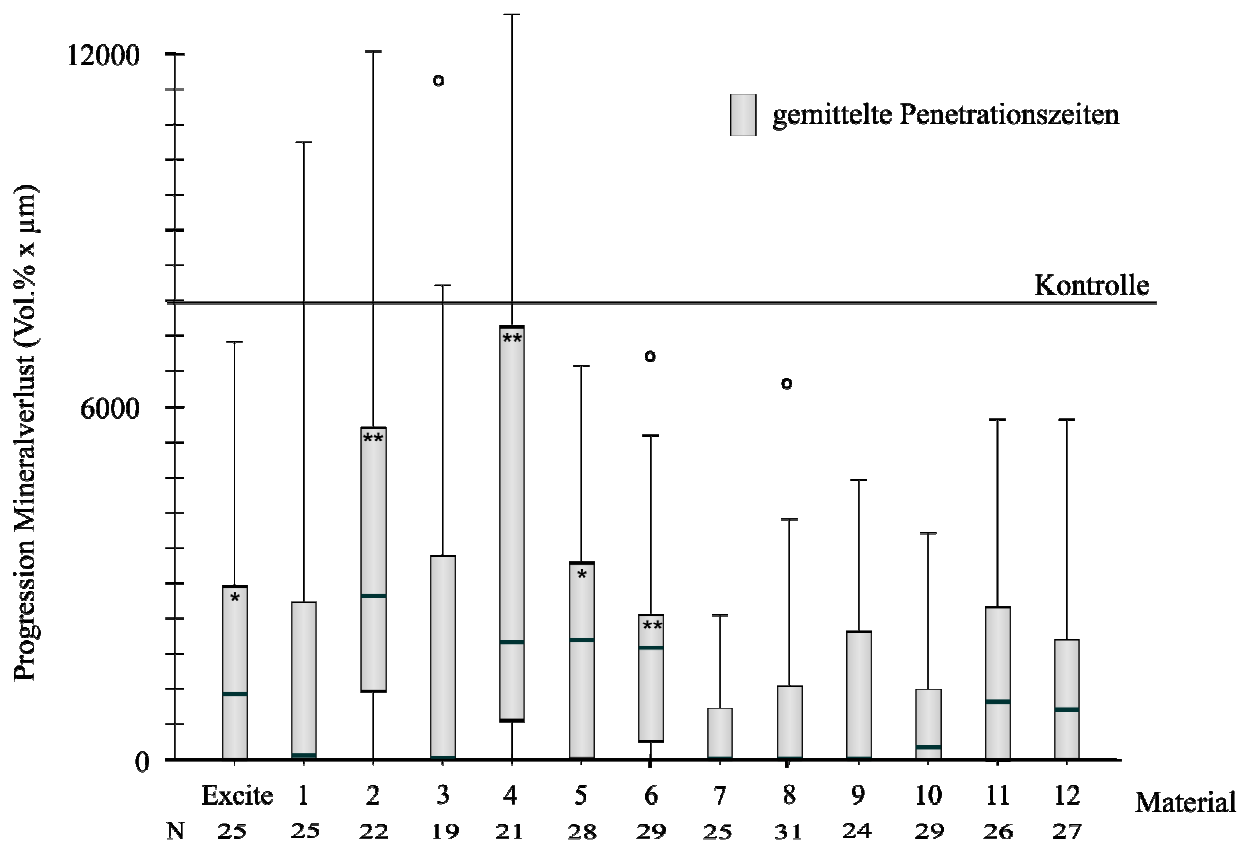


Abb. 42: Box-and-whiskers-plots mit den jeweiligen Quartilen sowie Medianen der Progression des Mineralverlustes (Vol.% \times μm) der zusammengefassten Penetrationszeiten. Signifikante Unterschiede zwischen den Werten vor und nach der zweiten Demineralisation sind mit Sternen gekennzeichnet ($p < 0,05$ *; $p < 0,01$ **; t-Test).

Die Ergebnisse der einzelnen Penetrationszeiten verdeutlichen die große Varianz der prozentualen Veränderungen der Mineralverluste sowie die vergleichsweise geringere Progression der meisten verwendeten Proben (siehe Standardabweichung) nach Infiltration für 40 s mit den Materialien 7-10 (Tab. 21).

Tab. 21: Prozentuale Progression der Mineralverluste in Relation zu den jeweiligen Kontrollhälften, ausgewertet anhand der mikroradiografischen Aufnahmen

Zeit	10 s			22 s			40 s		
Gruppe	MW	S	N	MW	S	N	MW	S	N
Excite®	14	23	9	6	20	9	22	33	8
1	-1	41	8	5	36	8	13	53	9
2	42	55	8	47	68	7	65	85	7
3	41	69	7	13	58	6	11	50	6
4	43	63	7	75	93	6	52	80	8
5	3	23	10	24	26	10	47	61	8
6	6	21	10	12	11	10	29	47	9
7	-4	21	9	-1	23	9	0	20	7
8	5	21	10	-4	17	11	6	30	10
9	20	41	8	6	27	9	-5	26	9
10	7	52	10	14	23	8	8	13	9
11	19	38	11	22	42	10	13	18	9
12	10	19	9	3	19	10	18	26	8

Mittelwerte (MW), Standardabweichungen (S) und Anzahl der gültigen Werte (N) der prozentualen Mineralverluste nach 10 s, 22 s bzw. 40 s Penetrationszeit

Zwischen den in Abschnitt 3a bestimmten Penetrationskoeffizienten (PK) und den Penetrationstiefen der in diesem Abschnitt (3b) verwendeten Materialien konnte eine sehr gute Korrelation gefunden werden ($r = 0,885$); auch unter zusätzlicher Berücksichtigung der Zeit ($\sqrt{PK \times t}$) war diese Korrelation sehr gut ($r = 0,888$). Die Progression der Läsionstiefe korrelierte ebenfalls gut mit der Quadratwurzel des Produktes aus PK und der Zeit ($r = 0,741$), während zu den anhand der mikroradiografischen Aufnahmen gemessenen Progression (Läsionstiefe sowie Mineralverlust) nur mittlere Korrelationen ($r = 0,43-0,45$) gefunden werden konnten (Tab. 22).

Tab. 22: Korrelationen der Penetrationstiefe sowie der Läsionsprogressionen (Läsionstiefe und Mineralverlust) mit der Quadratwurzel des Penetrationskoeffizienten mal der Zeit

	$\sqrt{PK \times t}$	Penetrations-tiefe	Progression Läsionstiefe CLSM	Progression Läsionstiefe TMR	Progression Mineralverlust TMR
$\sqrt{PK \times t}$	1				
Penetrationstiefe	0,885	1			
Progression Läsionstiefe CLSM	-0,741	-0,795	1		
Progression Läsionstiefe TMR	-0,450	-0,529	0,524	1	
Progression Mineralverlust TMR	-0,430	-0,476	0,539	0,670	1

Abbildung 43 verdeutlicht das Voranschreiten einer Läsion nach 50 bzw. 100 Tagen Demineralisation. Nach Versiegelung mit Excite® ist eine geringere Läsionsprogression im Vergleich zu der Kontrollläsion erkennbar. Eine Verlängerung der Applikationszeit führte hierbei zu einer Verringerung der Läsionsprogression (Abb. 44). Anhand der Abbildung 45 werden die qualitativen und quantitativen Unterschiede in der Penetrationsfähigkeit und der Inhibierung der Läsionsprogression zweier Infiltranten (Materialien: 4 und 10) im Vergleich zu Excite® deutlich.

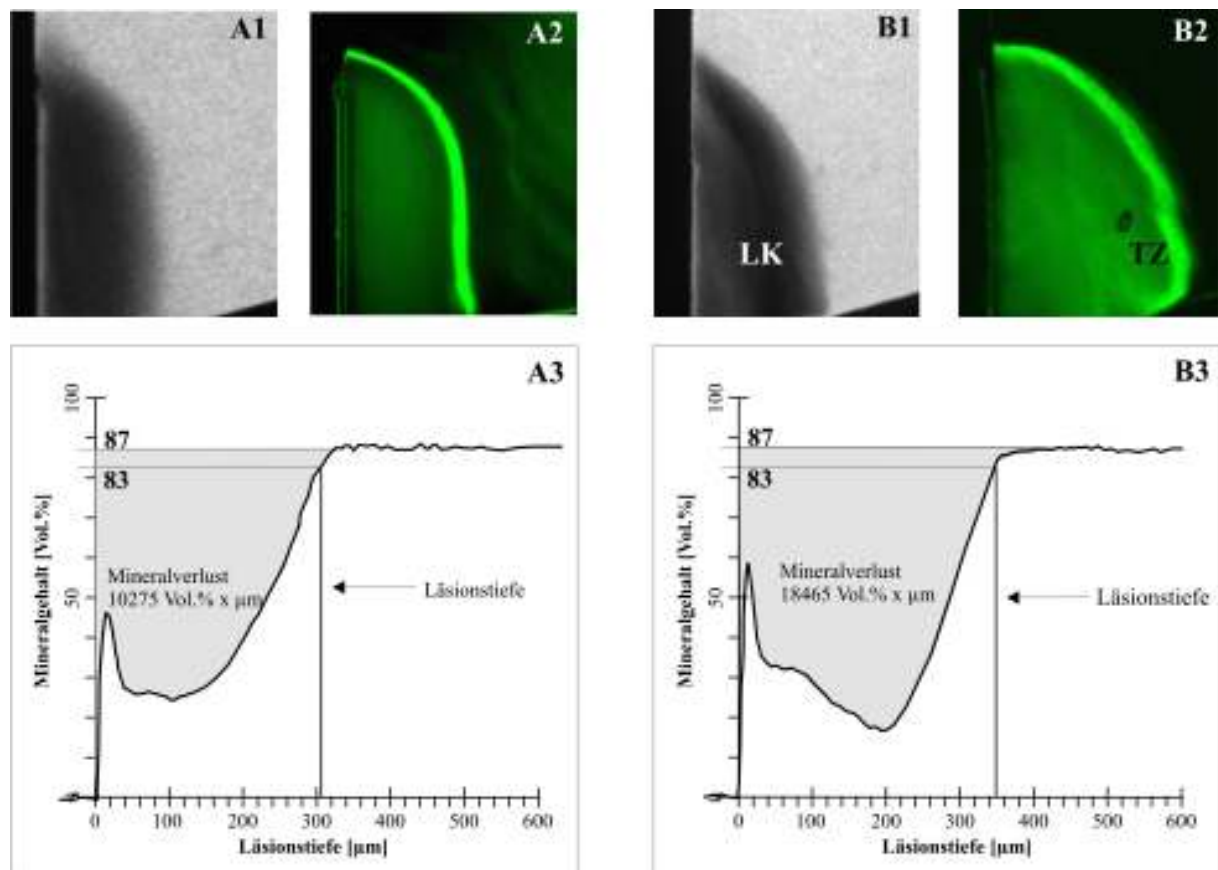


Abb. 43: Exemplarische mikroradiografische (A1, B1) sowie laser-raster-mikroskopische (A2, B2) Aufnahmen einer Kontrollläsion, die dem sauren Milieu für 50 Tage (A) bzw. 100 Tage (B) ausgesetzt wurde. Die Auswertungen der mikroradiografischen Bilder verdeutlichen, dass der Mineralverlust nach 100 Tagen Demineralisation (B3) bei dieser Läsion fast zweifach höher lag als nach 50 Tagen (A3), während sich die Läsionstiefe nur um ca. 15 % erhöhte. Allerdings lässt die CLSM-Aufnahme nach 100 Tagen (B2) einen zusätzlichen Mineralverlust im Sinne einer transluzenten Zone (TZ) unterhalb des im TMR-Bild als Läsionskörper (LK) dargestellten Bereiches (B1) vermuten.

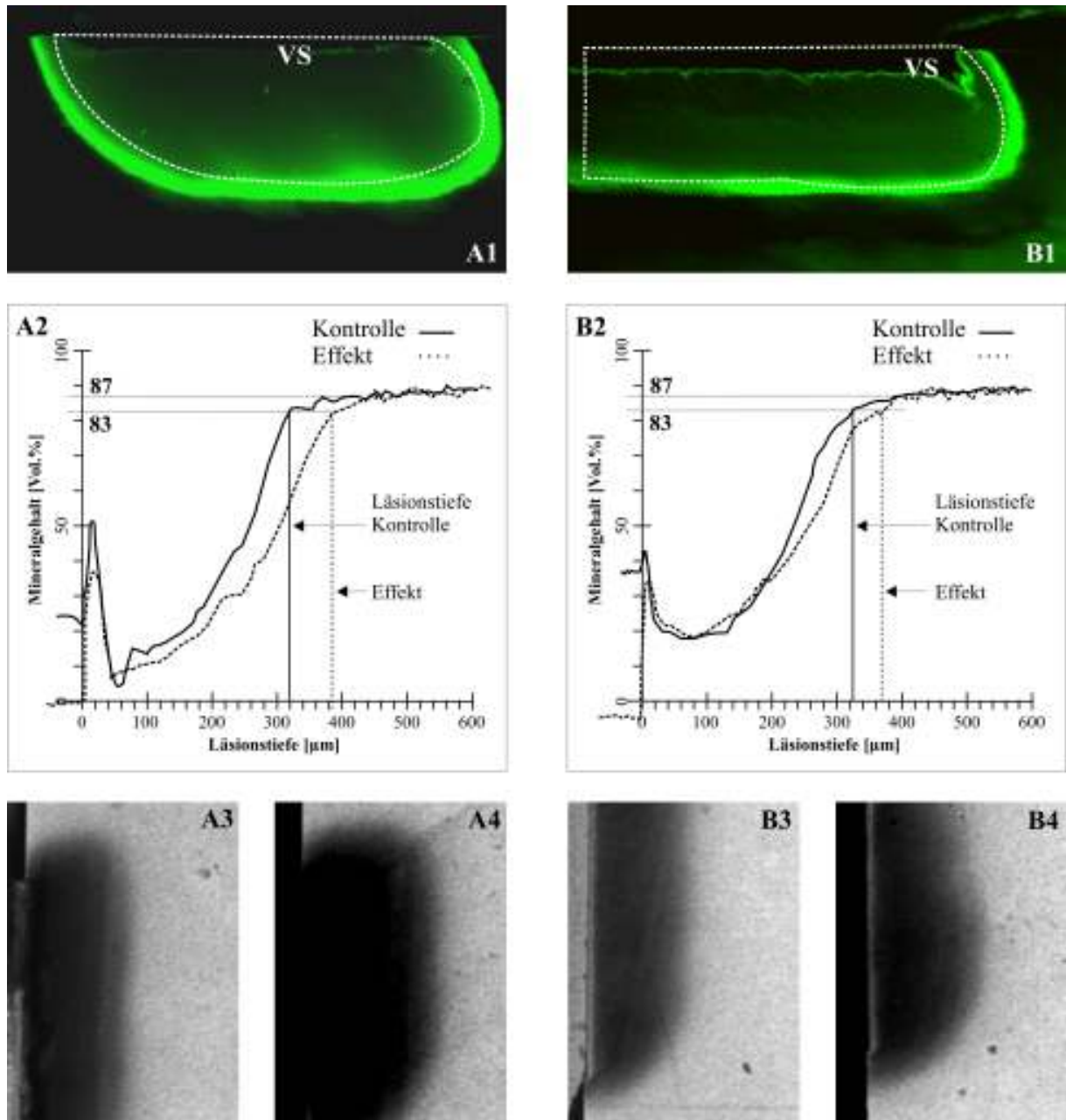


Abb. 44: Die exemplarischen CLSM-Aufnahmen nach Applikation von Excite® zeigen nach 10 s Penetrationszeit nur eine sehr dünne Versieglerschicht (VS), die ein Voranschreiten der Läsion (A1; gestrichelt: Baseline-Läsion) nicht verhindern konnte (A2). Die entsprechenden mikroradiografischen Bilder verdeutlichen das Ausmaß der Läsionen nach 50 (A3) bzw. 100 Tagen (B4) Demineralisation. Bei einer Applikationszeit von 40 s (B1) konnte Excite® ca. 30 % der Läsion penetrieren und ein weiteres Voranschreiten in diesem Fall teilweise verhindern, wie anhand der mikroradiografischen Auswertung (B2) sowie den dazugehörigen Bildern (B3, B4) deutlich wird. Bei manchen TMR-Bildern (A3 und B3) sind auf der Oberfläche Reste eines zur Erleichterung der Probenherstellung applizierten Kunststoffes erkennbar.

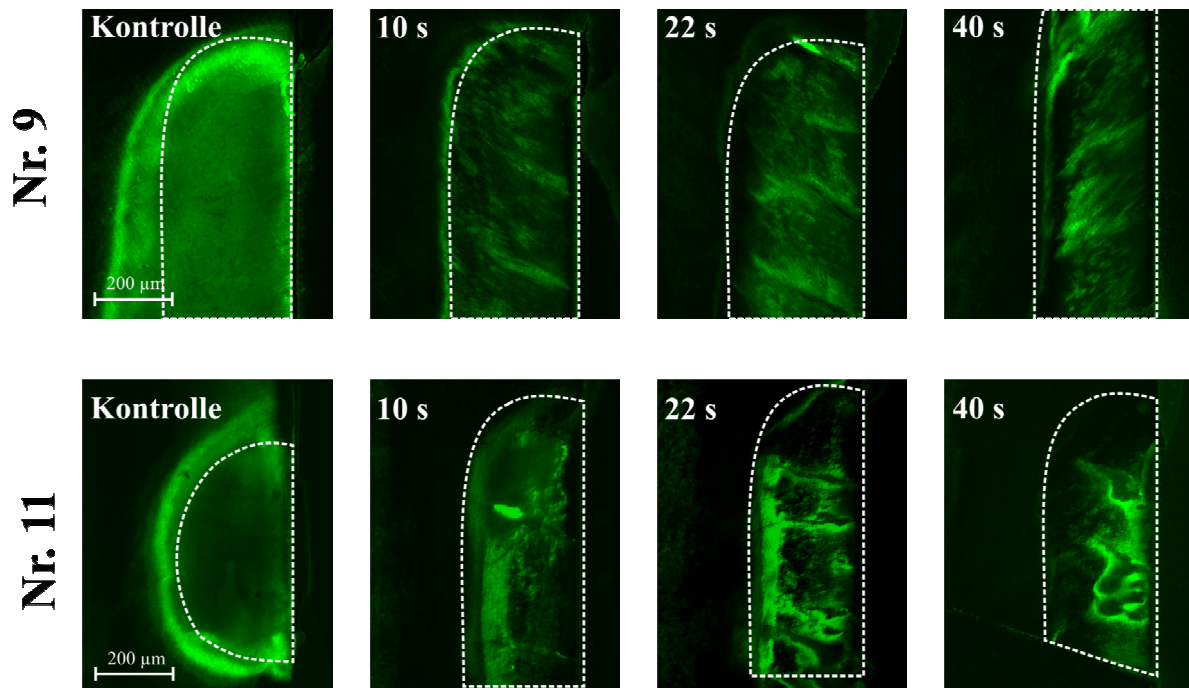
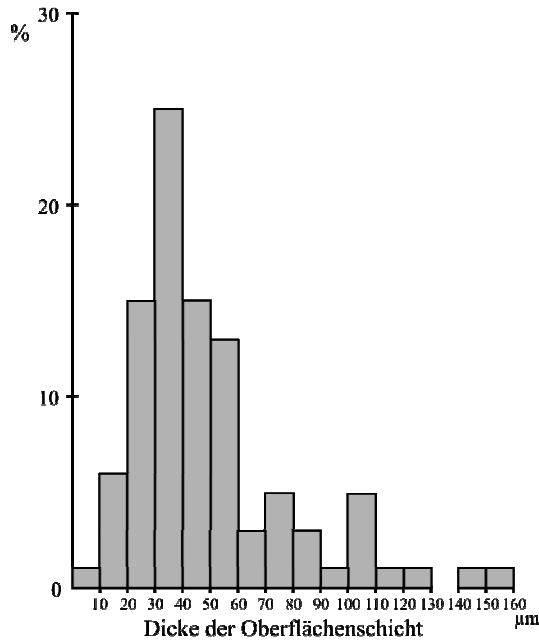


Abb. 45: Die jeweiligen exemplarischen CLSM-Aufnahmen nach Applikation von Material 9 und 11 zeigen nach 10 s Penetrationszeit bereits ein nahezu vollständiges Eindringen der beiden Materialien in die Läsionen. Allerdings sind bei allen drei Penetrationszeiten Inhomogenitäten sichtbar, die ein Vorschreiten der Läsionstiefen, wie anhand der qualitativen mikroradiografischen Auswertung erkennbar, nicht immer vollständig verhindern konnten.

5.6. Abschnitt 4a: Einfluss verschiedener saurer Gele auf die Oberflächenschicht natürlicher kariöser Läsionen *in vitro*

Die ungeätzten Kontrollhälften zeigten im konfokalen Mikroskop mittlere Oberflächenschichtdicken (Standardabweichung) von 45 (29) μm ;



schichtdicken (Standardabweichung) von 45 (29) μm ; die Daten waren somit nicht normalverteilt (Abb. 46). Auch innerhalb der Läsionen konnte, wie anhand der mittleren Standardabweichung der sechs Messstellen von 11 μm erkennbar ist, eine ausgeprägte Varianz festgestellt werden (Spannweite: 0,5-72 μm). Zwischen den Gruppen konnten hinsichtlich der Oberflächenschichtdicken der Kontrollhälften keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden ($p > 0,05$; ANOVA).

Abb. 46: Prozentuale Verteilung der Oberflächenschichtdicken der Kontrollläsionen. Die Messungen anhand der CLSM-Bilder ergaben bei 71 % der Läsionen eine mittlere Dicke von 60 μm .

Die Erosionen der Läsionsoberflächen waren vergleichbar mit denen des gesunden Schmelzes ($p \geq 0,05$; t-Test). Allerdings wurde die Läsionsoberfläche durch die 15%ige Salzsäure tendenziell schneller erodiert als der gesunde Schmelz (Abb. 47).

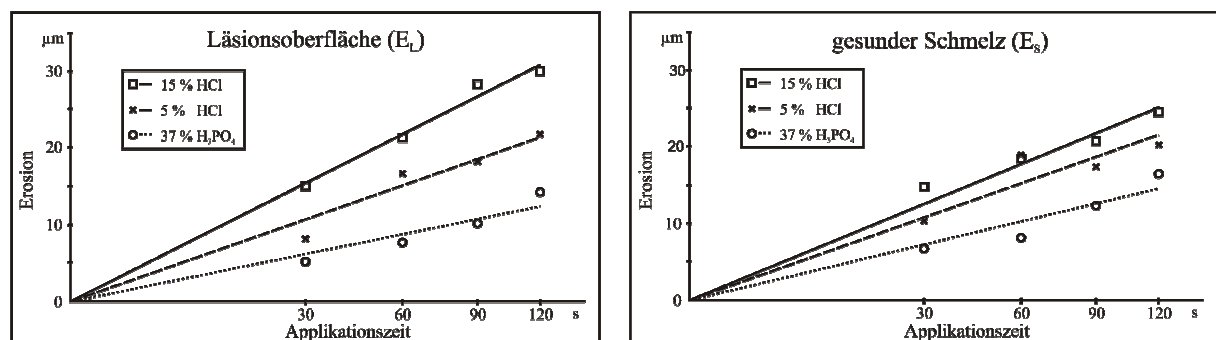


Abb. 47: Die Darstellung der mittleren Erosionen (μm) der Läsions- bzw. der gesunden Schmelzoberflächen zum Logarithmus der Zeit zeigt einen quadratischen Zusammenhang für alle drei sauren Gele.

Abgesehen von den Proben, die für 30 s mit H_3PO_4 -Gel geätzt wurden, konnte bei allen anderen 11 Gruppen ($n = 8$) eine signifikante Reduktion der Oberflächenschichtdicken (OS) gemessen werden ($p < 0,05$; t-Test). Nach Ätzung für mindestens 90 s mit 15%igem HCl-Gel war die prozentuale Reduktion der Oberflächenschichten signifikant größer als nach Ätzung mit Phosphorsäure ($p < 0,05$; Bonferroni) (Abb. 48).

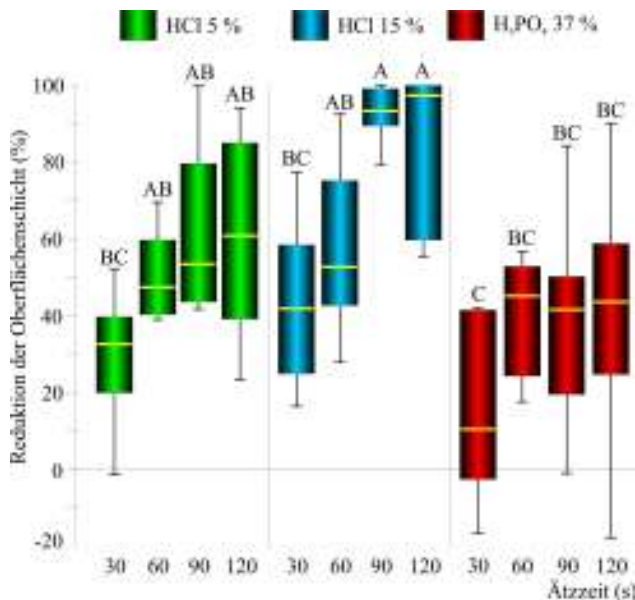


Abb. 48: Prozentuale Reduktion der Oberflächenschichtdicken nach Ätzung mit 5%iger HCl (grün), 15%iger HCl (blau) und 37%iger H_3PO_4 (rot). Dargestellt sind box-and-whiskers-plots mit den jeweiligen Quartilen sowie Medianen (gelb). Gruppen mit unterschiedlichen Buchstaben unterscheiden sich signifikant voneinander ($p < 0,05$; Bonferroni).

Die CLSM-Aufnahmen verdeutlichen die Varianz der Dicke der Oberflächenschichten sowohl zwischen als auch innerhalb der Läsionen. Eine Ätzung mit Salzsäure konnte eine deutliche Erosion bewirken, wohingegen die Phosphorsäure nur eine partielle Auflösung der Oberflächenschichten induzierte (Abb. 49).

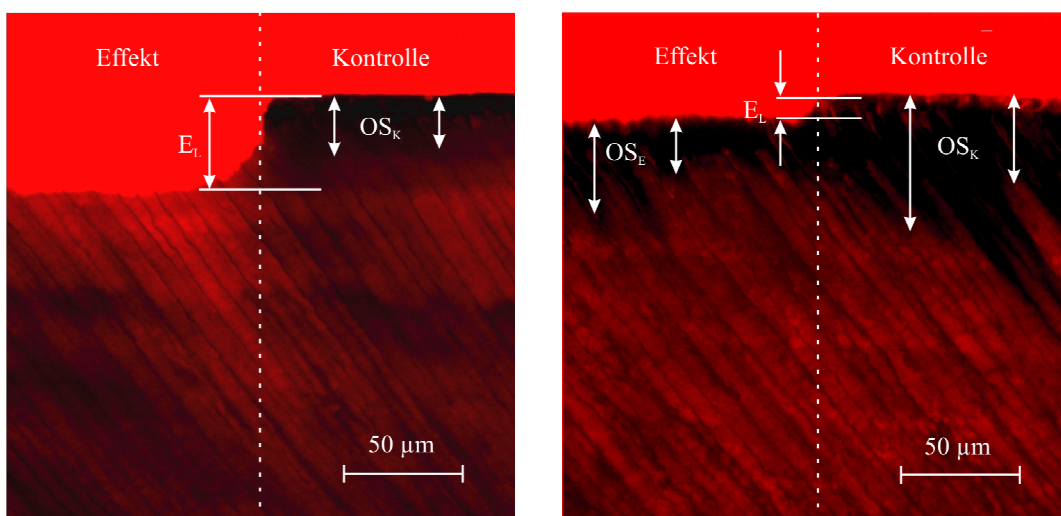


Abb. 49: Repräsentative CLSM-Aufnahmen jeweils einer Läsion, die mit HCl (15 %) für 90 s (links) bzw. H_3PO_4 (37 %) für 30 s (rechts) geätzt wurde. Nach Ätzung mit HCl ist im Vergleich zu H_3PO_4 eine deutlichere Erosion (E_L) mit einer vollständigen Entfernung der Oberflächenschicht (OS_E) erkennbar.

Bei keiner der zwölf Konditionierungsmodalitäten konnten signifikante Veränderungen des Mineralgehaltes der inneren Läsionsbereiche (gemessen ab einer Tiefe von 50 µm innerhalb der Läsion) zwischen den Werten der Kontroll- und Effekthälften gemessen werden ($p \geq 0,05$; adjustierter t-Test). Allerdings war der Mineralverlust der obersten 50 µm nach Behandlung mit HCl (15 %) für 90 s bzw. 120 s im Vergleich zur Ätzung mit HCl (5 %) für 30 s sowie mit Phosphorsäure signifikant erhöht ($p < 0,05$; Bonferroni) (Abb. 50).

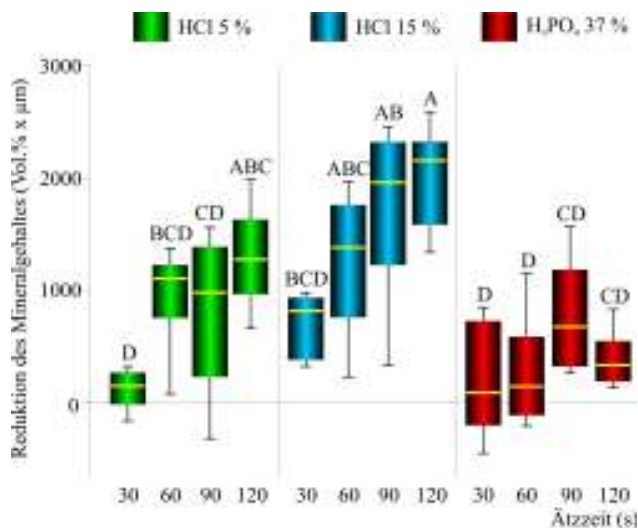


Abb. 50: Prozentuale Reduktion des Mineralgehaltes der oberen 50 µm der Läsionen nach Ätzung mit 5%iger HCl (grün), 15%iger HCl (blau) und 37%iger H₃PO₄ (rot). Dargestellt sind box-and-whiskers-plots mit den jeweiligen Quartilen sowie Medianen (gelb). Gruppen mit unterschiedlichen Buchstaben unterscheiden sich signifikant voneinander ($p < 0,05$; Bonferroni).

Nach Behandlung mit HCl (5 %) für 60 s und 120 s bzw. HCl (15 %) für 90 s und 120 s lag der Oberflächenpunkt (O.p.E; Tiefe des größten Mineralgehaltes der Oberflächenschicht) signifikant tiefer in der Läsion als bei der Kontrollhälfte (O.p.K) ($p < 0,01$; adjustierter t-Test) (Tab. 23).

Tab. 23: Oberflächenpunkte (µm) der Kontroll- (O.p.K) und der Effekthälften (O.p.E)

Gruppen			O.p.K		O.p.E		Sig.
Nr.	Säure	Zeit (s)	MW	S	MW	S	
1	HCl 5 %	30	30	18	28	12	n.s.
2		60	17	5	32	9	*
3		90	23	9	31	7	n.s.
4		120	22	20	43	25	*
5	HCl 15 %	30	20	8	34	22	n.s.
6		60	20	6	37	13	n.s.
7		90	14	4	38	8	*
8		120	22	13	52	9	*
9	H ₃ PO ₄ 37 %	30	21	9	28	12	n.s.
10		60	23	10	26	11	n.s.
11		90	23	6	30	4	n.s.
12		120	33	11	33	9	n.s.

Mittelwerte (MW), Standardabweichungen (S) und signifikante Unterschiede (Sig.) zwischen O.p.K. und O.p.E (Sig.) der zwölf Gruppen. ($p \geq 0,05$ n.s.; $p < 0,05$ *; adjustierter t-Test)

Aufgrund der hohen Viskosität der Ätzgele wurden die pH-Werte mit 0,8 für H₃PO₄ 37 %, -0,14 für HCl 5 % und -0,61 für HCl 15 % kalkuliert.

Die Auswertung der mikroradiografischen Bilder hinsichtlich der Strecke von der natürlichen Oberfläche bis zur Tiefe mit dem höchsten Mineralgehalt [Oberflächenpunkt (O.p.)] ergab keine signifikanten Unterschiede zwischen den Kontrollhälften der Gruppen ($p \geq 0,05$; ANOVA). Durch den Ätzvorgang mit Salzsäure wurden die Koordinaten der Oberflächenpunkte (Mineralgehalt, Läsionstiefe) teilweise signifikant (Tab. 23) in Richtung der Läsionskörpers verschoben (Abb. 51).

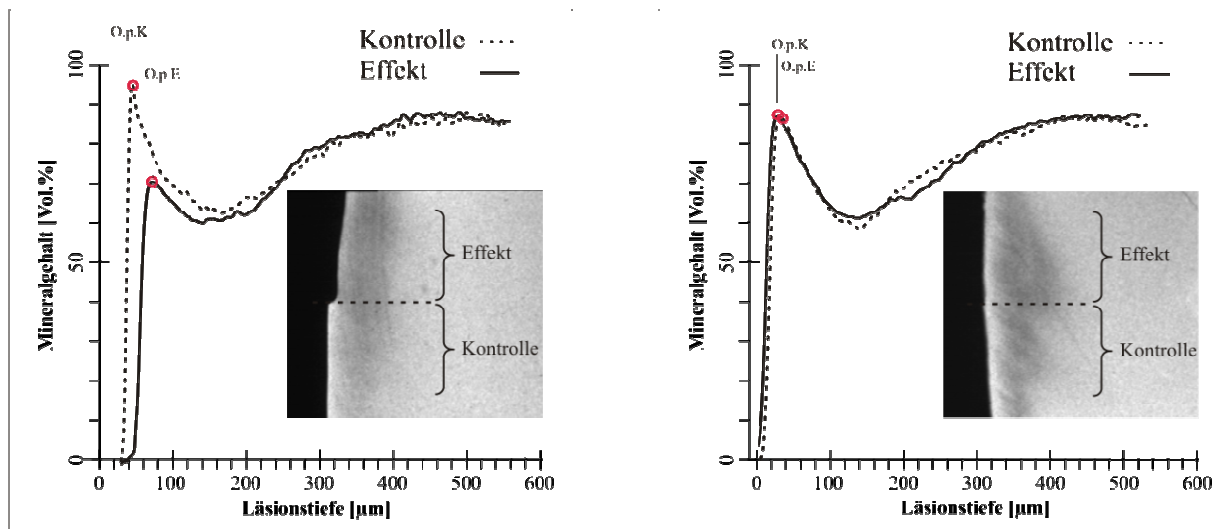


Abb. 51: Exemplarische mikroradiografische Auswertung jeweils zweier Läsionshälften, deren Effekthälfte entweder mit HCl (15 %) für 120 s (links) oder H₃PO₄ für 90 s (rechts) geätzt wurde. Durch Ätzung mit Salzsäure fand eine Verschiebung des Oberflächenpunktes der Kontrolle (O.p.K) in Richtung des Läsionskörpers statt (O.p.E).

5.7. Abschnitt 4b: Einfluss der Säureätzung auf die Infiltration eines Adhäsivsystems in natürliche kariöse Läsionen *in vitro*

Anhand der CLSM-Bilder wurden die Penetrationstiefen bei den mit Excite® (Vivadent) behandelten, natürlichen Läsionen (n = 10) bestimmt. Der paarweise Vergleich (es wurden jeweils Läsionshälften verwendet) der nicht normalverteilten Penetrationstiefen ($p < 0,05$; Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest) zeigte einen höchst signifikanten Unterschied nach Ätzung mit 15%igem HCl [58 (37) µm] bzw. 37%igem H₃PO₄ Gel [18 (11) µm] ($p < 0,001$; Wilcoxon-Test). Die Kontrollen (keine Ätzung) zeigten signifikant geringere Penetrationen [0 (1) µm] ($p < 0,001$; Wilcoxon-Test) (Abb. 52).

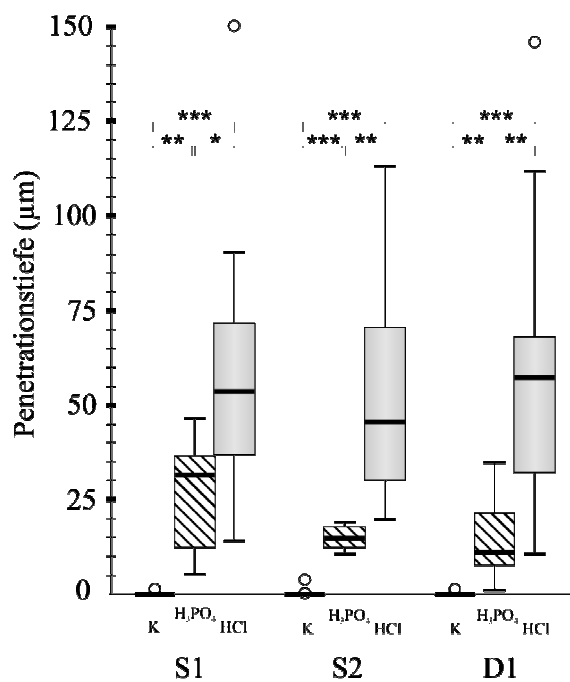


Abb. 52: Penetrationstiefen (µm) des Adhäsivsystems nach Ätzung mit H₃PO₄ (schraffiert), HCl (hellgrau) bzw. ohne vorherige Ätzung (dunkel) getrennt dargestellt nach histologischer Läsionsausdehnung. Dargestellt sind box-and-whiskers-plots mit den jeweiligen Quartilen sowie Medianen (schwarz). Signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen sind mit Sternen gekennzeichnet (p < 0,05 *; p < 0,01 **; p < 0,001 ***; Wilcoxon, Mann Whitney).

Zwischen den drei Läsionsausdehnungen konnten weder bei histologischer noch radiologischer (Tab. 24) Einteilung signifikante Unterschiede hinsichtlich der Penetration des Adhäsivsystems gefunden werden (p ≥ 0,05; Kruskal-Wallis-Test).

Tab. 24: Mittlere Penetrationstiefen (Standardabweichung) in µm der drei Gruppen aufgeteilt nach der radiologischen Ausdehnung der Karies

Radioluzenz		R0	R1	R2	R3
		Gruppe			
Kontrolle		0 (0) n=8	0 (0) n=10	1 (1) n=8	0 (0) n=4
Beh.	H ₃ PO ₄	25 (15) n=6	17 (12) n=10	16 (7) n=8	16 (10) n=6
	HCl	47 (27) n=6	65 (41) n=10	52 (27) n=8	67 (52) n=6

Läsionen, deren Oberflächenschichten durch die Ätzung komplett entfernt werden konnten (Kontrolle n = 0; H₃PO₄ n = 2; HCl n = 8), zeigten signifikant größere Penetrationstiefen [65 (35) µm] im Vergleich zu Läsionen, die nach Ätzung Reste der Oberflächenschichten aufwiesen [33 (31) µm] (p < 0,01; Mann-Whitney). Die mittleren Dicken der verbliebenen Oberflächenschichten waren nach vorheriger Ätzung mit HCl [20 (18) µm] signifikant geringer im Vergleich zur Phosphorsäure [37 (25) µm] sowie zur unpaarigen Kontrollläsion [42 (23) µm] (p ≥ 0,05; Mann-Whitney).

Die qualitativen Darstellungen verdeutlichen die unterschiedliche Penetration des Adhäsivsystems in Abhängigkeit von der Vorbehandlung (Abb. 53) sowie die Oberfläche von Läsionen nach Ätzung bzw. nach Behandlung mit einem Adhäsivsystem (Abb. 54).

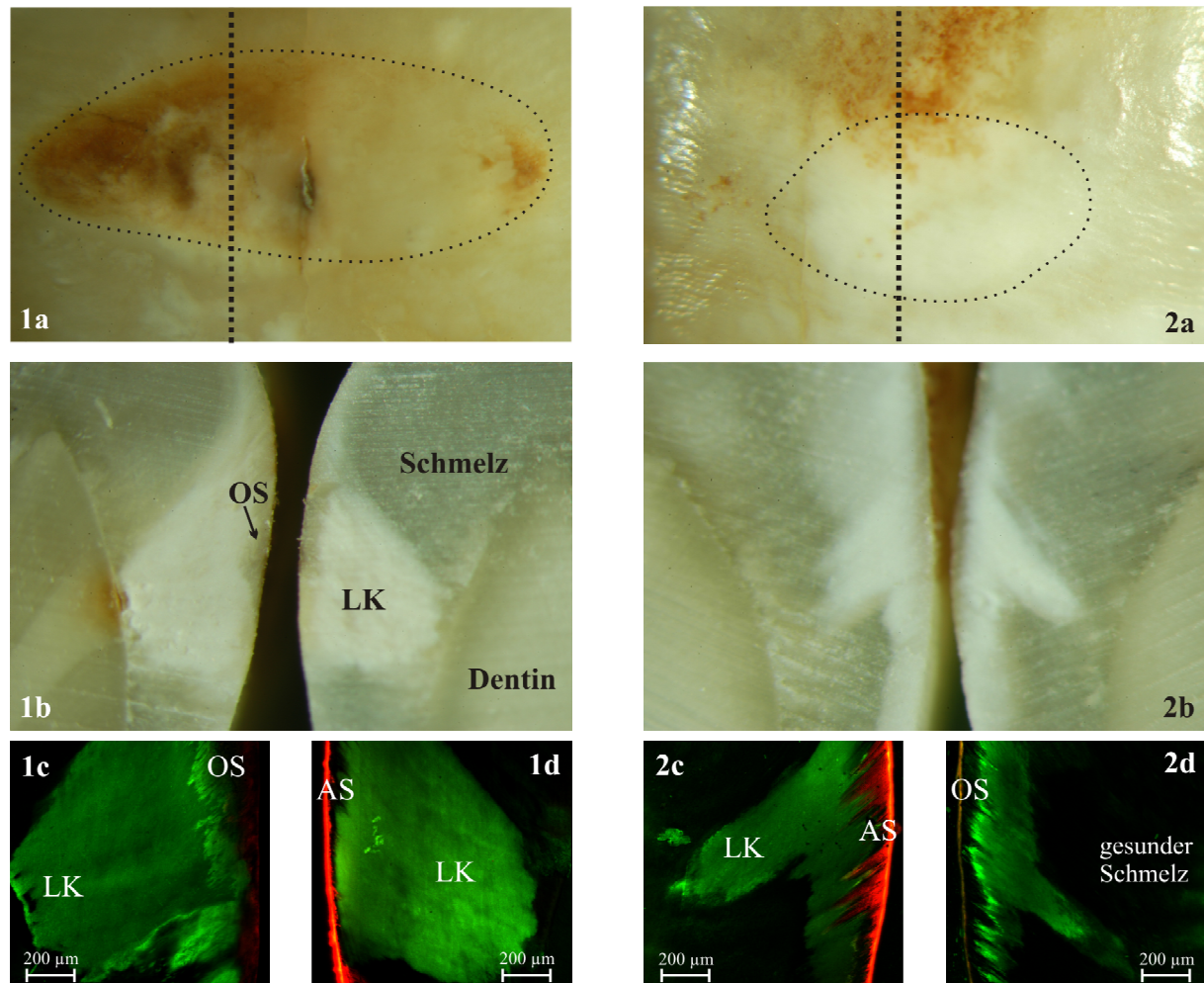


Abb. 53: Repräsentative TMR- sowie CLSM-Bilder der beiden experimentellen Gruppen von jeweils zwei korrespondierenden Läsionshälften. Die verfärbte und raue Oberfläche der Läsion 1 (1a) lässt eine Dentinkaries vermuten, die nach senkrechtem Schnitt durch die Mitte der Läsion (---) zumindest für die linke Hälfte bestätigt werden konnte (1b). Trotz vorheriger Ätzung mit H_3PO_4 ist eine deutliche Oberflächenschicht (OS) erkennbar, weshalb das Adhäsivsystem vermutlich nur minimal in die D1-Läsion eindringen konnte (1c). Nach Ätzung mit HCl erkennt man hingegen eine homogene Adhäsivschicht (AS), die die erodierte Oberfläche ersetzt und teilweise bis zu $70\ \mu m$ die Läsion penetrieren konnte (1d).

Die weiße, glatte, spiegelnde Oberfläche der Läsion 2 lässt eine reine Schmelzkaries vermuten (2a), die in der Seitenansicht nach senkrechtem Schnitt (---) verifiziert werden konnte (2b). Nach Vorbehandlung mit H_3PO_4 ist wiederum nur eine sehr dünne Schicht des Adhäsivsystems erkennbar (2d), während HCl die Oberflächenschicht partiell komplett entfernen konnte und somit ein Eindringen des Adhäsivsystems (AS) in den Läsionskörper (LK) ermöglicht wurde (2c).

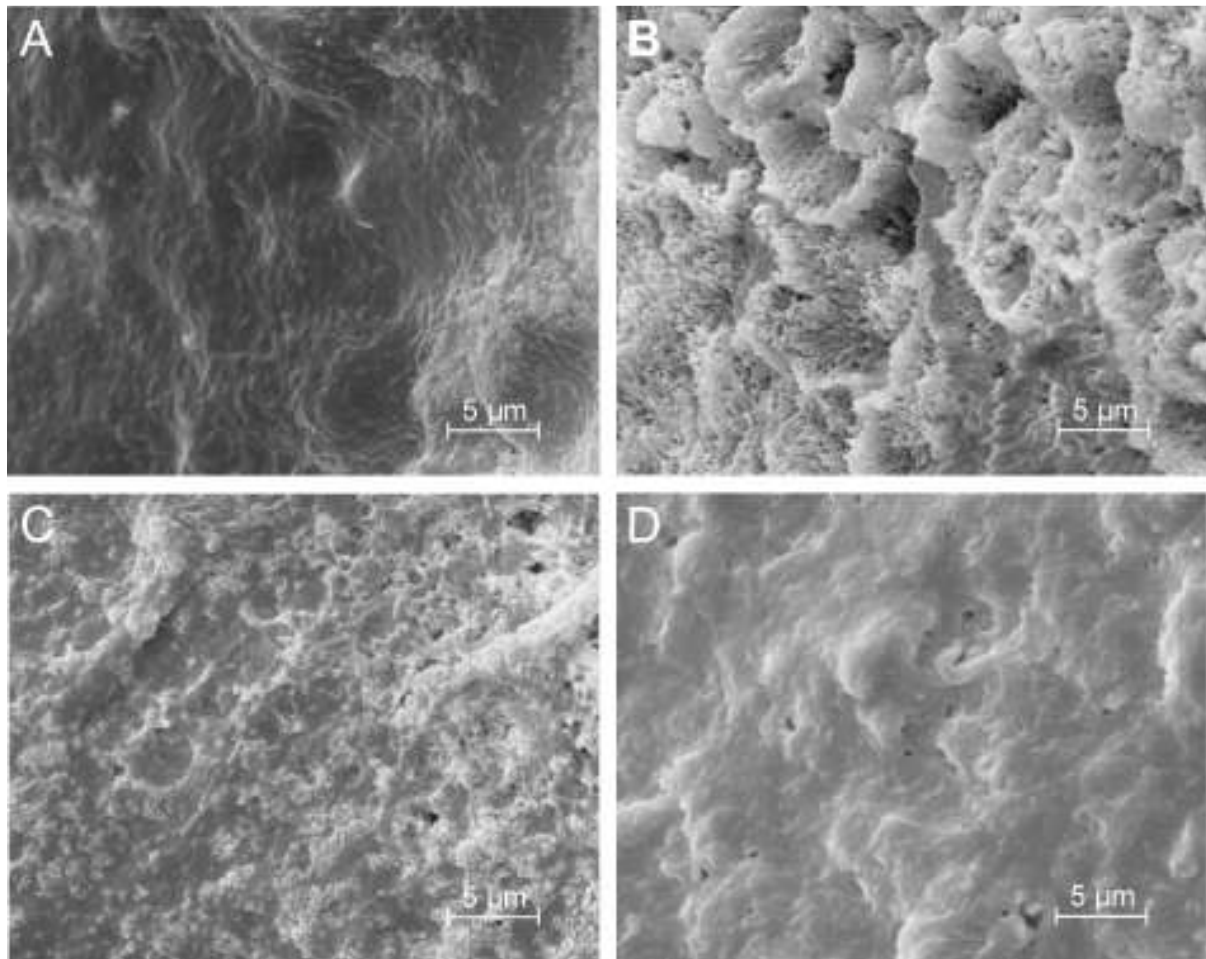
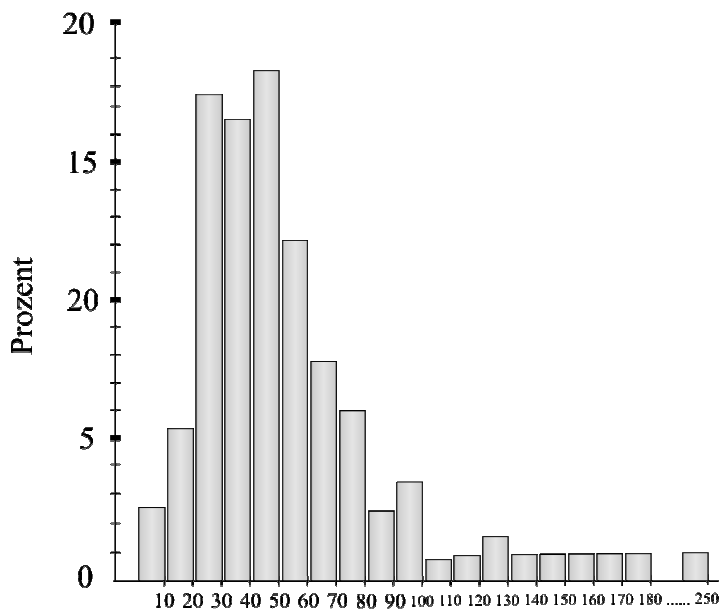


Abb. 54: Repräsentative rasterelektronenmikroskopische Bilder der Oberfläche einer unbehandelten kariösen Läsion (a) sowie eines mit HCl geätzten Läsionsbereichs (b). Durch die Ätzung mit HCl scheint die Oberflächenschicht weitestgehend erodiert und somit stärker demineralisierte Bereiche des Läsionskörpers freigelegt. Nach Ätzung mit Phosphorsäure (c) imponiert hingegen eine partiell erodierte Oberflächenschicht; die Prismenstruktur des Läsionskörpers ist vergleichsweise weniger sichtbar. Nach Behandlung einer mit HCl geätzten Läsion mit Excite® (d) resultiert eine vergleichsweise homogene Oberfläche (b), die allerdings im Vergleich zum Gesunden (a) relativ rau erscheint, da überschüssiges Adhäsiv vor der Lichthärtung entfernt wurde.

5.8. Abschnitt 4c: Einfluss verschiedener Läsionsmerkmale natürlicher kariöser Läsionen auf die Infiltration eines Adhäsivsystems *in vitro*

Die nicht konditionierten Kontrollhälften zeigten im konfokalen Mikroskop mittlere



Oberflächenschichtdicken (Standardabweichung) von 48 (40) µm (n = 115); die Daten waren somit nicht normalverteilt (Abb. 55). Auch innerhalb der Läsionen konnte, wie anhand der mittleren Standardabweichung der zehn Messstellen von 24 µm erkennbar ist, eine ausgeprägte Varianz festgestellt werden (Spannweite: 0-81 µm).

Abb. 55: Prozentuale Verteilung der mittleren Oberflächenschichtdicken der Kontrollläsionen. Die Messungen anhand der CLSM-Bilder ergaben bei 73 % der Läsionen eine mittlere Dicke von maximal 50 µm.

Nach Ätzung mit HCl 15 % für zwei Minuten konnte eine signifikante Reduktion der Oberflächenschichtdicken (OS) um 28 (46) µm gemessen werden ($p < 0,001$; Wilcoxon-Test), so dass 20 (38) µm OS verblieben. Das Adhäsivsystem konnte im Durchschnitt (Standardabweichung) 65 (53) µm tief in die 115 Läsionen eindringen, die eine mittlere Läsionstiefe im Schmelz von 504 (284) µm aufwiesen.

Läsionen, deren Oberflächenschichten durch die Ätzung komplett entfernt werden konnten (n = 65) zeigten signifikant größere Penetrationstiefen [84 (62) µm] im Vergleich zu Läsionen, die nach Ätzung Reste der Oberflächenschichten aufwiesen [40 (19) µm] ($p < 0,001$; Mann-Whitney). In den inneren Läsionsbereichen konnten keine signifikanten Veränderungen des Mineralgehaltes (gemessen ab einer Tiefe von 50 µm innerhalb der Läsion) zwischen den Werten der Kontroll- [10.250 (8.650) Vol.% × µm] und Effekthälften [11.330 (10.440) Vol.% × µm] gemessen werden ($p \geq 0,05$; Wilcoxon-Test). Allerdings war nach Behandlung mit HCl (15 %) der Mineralverlust der obersten 50 µm der Effekthälfte [1120 (560) Vol.% × µm] im Vergleich zu den Kontrollhälften [830 (508) Vol.% × µm] signifikant erhöht ($p < 0,05$; Wilcoxon-Test) (n = 87).

Die Einflüsse der verschiedenen Faktoren wurden zunächst bivariat analysiert (non-parametrische Tests) (Tab. 25). Bezüglich der Penetrationstiefe des Adhäsivsystems lag ein signifikanter Einfluss der Zahnfläche ($p = 0,016$; Mann-Whitney-Test), des Oberflächenglanzes ($p = 0,021$) sowie der Kavitation vor ($p = 0,031$). Die Läsionstiefe ($p = 0,011$) sowie die Oberflächenschichtdicke ($p = 0,047$) waren ebenfalls signifikant abhängig von der Fläche, während die Oberflächenschichtdicke darüber hinaus von der histologischen Läsionstiefe signifikant beeinflusst wurde ($p = 0,007$; Kruskal-Wallis-Test). Der Mineralverlust der Oberflächenschicht wurde hingegen nur von der Fläche signifikant beeinflusst ($p = 0,032$; Mann-Whitney-Test).

Tab. 25: Bivariate Analyse der Einflüsse verschiedener Läsionsmerkmale auf die Penetrations- und Läsionstiefe sowie die Dicke (CLSM) und den Mineralverlust (TMR) der Oberflächenschicht

Variable Faktor	Penetrations- tiefe	Läsionstiefe	Oberflächen- schichtdicke	Mineralverlust Oberflächenschicht
Fläche	0,016	0,006	* 0,047	* 0,032
histologische Tiefe	0,681	--	* 0,011	0,420
röntgenologische Tiefe	0,781	--	0,824	<i>0,134</i>
Oberflächenglanz	0,021	<i>0,248</i>	0,646	0,928
Verfärbung	0,819	<i>0,190</i>	0,812	<i>0,230</i>
Kavitation	0,031	0,990	0,816	0,765
Rauigkeit	<i>0,168</i>	0,957	0,522	0,609
Lichttest	0,790	<i>0,064</i>	0,295	0,304
erklärte Varianz (%)	9,4	5,1	5,7	1,6

P-Werte ($p < 0,05$; Mann-Whitney-Test und Kruskal-Wallis-Test), die auf eine signifikante Abhängigkeit zweier Variaten hindeuten, sind fett hervorgehoben. Faktoren, die mit $p < 0,25$ (kursiv) die jeweilige Variable beeinflussten, wurden in die anschließende lineare Regression einbezogen. Signifikante Abhängigkeiten ($p < 0,05$) zwischen Faktoren und Variablen, die mit der linearen Regression ermittelt wurden, sind mit *,** gekennzeichnet. Die erklärte Varianz der jeweiligen linearen Regression ist mit korrigierten r^2 Werten angegeben.

Einflussfaktoren, die die jeweilige Variable mit $p < 0,25$ beeinflussten, wurden anschließend mit Hilfe der linearen Regression evaluiert. Hierbei wurde für die Penetrationstiefe des Adhäsivs eine nahezu signifikante Abhängigkeit von der Fläche ($p = 0,058$) und dem Faktor ‚Kavitation‘ ($p = 0,063$) evaluiert. Läsionen mit einer makroskopisch sichtbaren Kavitation [85 (70) μm ; $n = 30$] wurden besser penetriert als diejenigen ohne Kavitation [58 (44) μm ; $n =$

85]. Die Fläche hatte ebenso auf die anderen drei Variablen einen größeren Einfluss (Läsionstiefe: $p = 0,018$; Oberflächenschichtdicke: $p = 0,024$; Mineralverlust: $p = 0,089$) (Tab. 25). Die Oberflächenschichtdicke wurde außerdem von der histologischen Läsionstiefe signifikant beeinflusst ($p = 0,034$). Hierbei wiesen die S1- [36 (26) μm ; $n = 43$] etwas dünnere Oberflächenschichten auf als die S2-Läsionen [57 (56) μm ; $n = 38$] sowie die D1-Läsionen [52 (30) μm ; $n = 34$].

Die qualitativen Darstellungen verdeutlichen das Eindringen des Adhäsivsystems in eine approximale S2-Läsion, die in der gewählten Darstellung eine ausgeprägte Oberflächenschicht aufwies (Abb. 56)

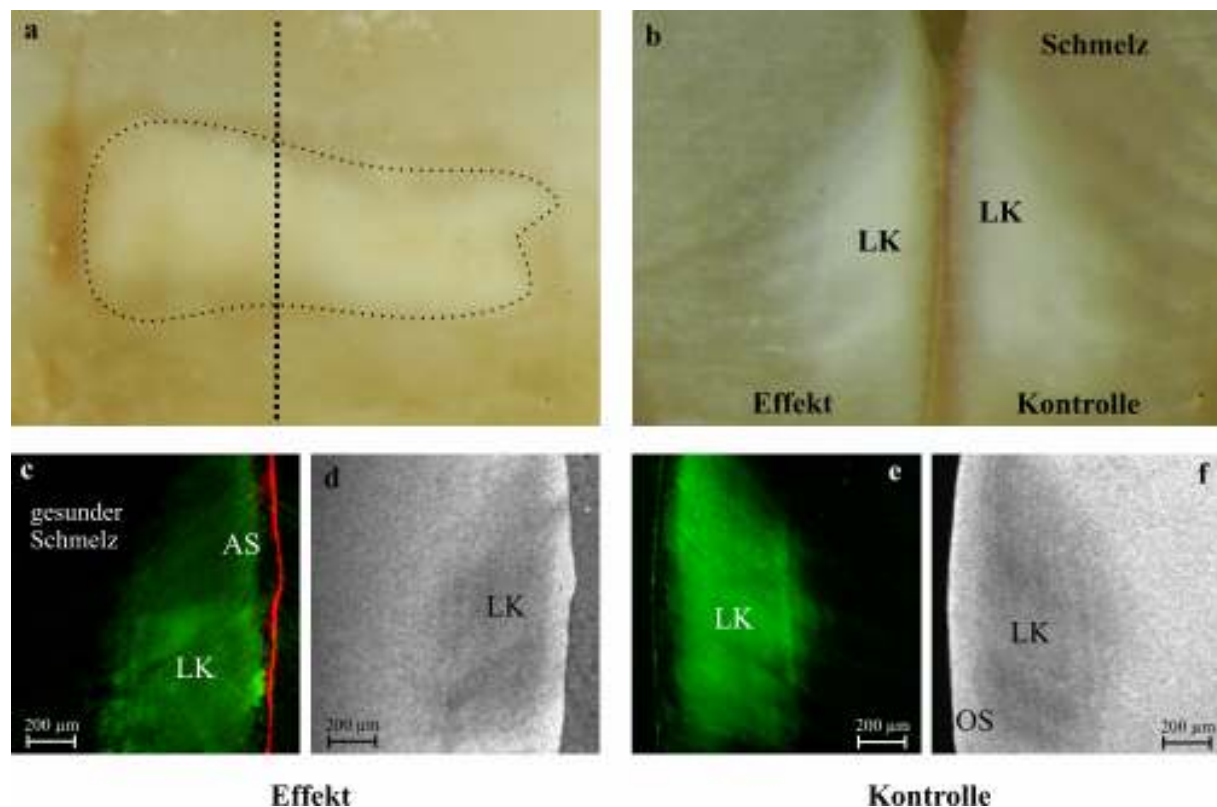


Abb. 56: Exemplarische makroskopische sowie laser-raster-mikroskopische Bilder zweier korrespondierender Hälften einer approximalen bis in die innere Schmelzhälfte extendierten Läsion. Die weißlich matte Oberfläche (a) deutet auf eine aktive Läsion hin. Nach senkrechtem Schnitt durch die Mitte der Läsion (---) exponieren beidseitig Läsion bis in die inneren Schmelzbereiche (b). Die im CLSM-Bild der Effekthälfte (c) rot dargestellte Adhäsivschicht (AS) konnte nur wenige Mikrometer tief infiltrieren (c), was auf die Barrierewirkung der relativ ausgeprägten pseudointakten Oberflächenschicht zurückgeführt werden könnte (d). Die Oberfläche der Kontrollhälfte scheint in der CLSM-Darstellung ein ähnlich hohes Porenvolumen wie die der Effekthälfte aufzuweisen (e). Die mikroradiografische Darstellung verdeutlicht, dass die Oberfläche der Kontrollläsion (OS) wesentlich stärker mineralisiert als der Läsionskörper (LK)

Die deskriptive Analyse des Faktors ‚Fläche‘ verdeutlicht die in der linearen Regression statistisch teilweise signifikanten, aber geringen Unterschiede zwischen approximalen und bukkalen Läsionen (Tab. 26).

Tab. 26: Deskriptive Analyse des Faktors ‚Fläche‘ bezüglich der vier evaluierten Variablen

Variable		Penetrations-tiefe (µm)		Läsionstiefe (µm)		Oberflächen-schicht (µm)		Mineralverlust Oberfläche (Vol.% × µm)	
		MW (S)	n	MW (S)	n	MW (S)	n	MW (S)	n
Fläche	approx.	78 (63)	61	439 (264)	61	55 (46)	61	733 (583)	52
	bukkal	50 (33)	54	578 (288)	54	40 (31)	54	973 (326)	35

MW = Mittelwert, S = Standardabweichung

5.9. Abschnitt 5: Vergleich der Penetrationstiefen nach Infiltration natürlicher kariöser Läsionen mit einem Adhäsivsystem sowie einem Infiltranten *in vitro*

Bei Auswertung mit Methode B konnten signifikant größere Penetrationstiefen nach Behandlung mit dem Infiltranten [234 (201) µm] im Vergleich zu Excite® [42 (17) µm] gefunden werden (p < 0,001; Wilcoxon-Test). Bei Auswertung im Trans-Modus wurden nach Behandlung mit Excite [47 (20) µm] signifikant größere, bei Verwendung des Infiltranten [147 (117) µm] signifikant geringere Penetrationstiefen im Vergleich zu der jeweiligen Auswertung mit Methode B gefunden (p < 0,001; Wilcoxon-Test) (Abb. 57).

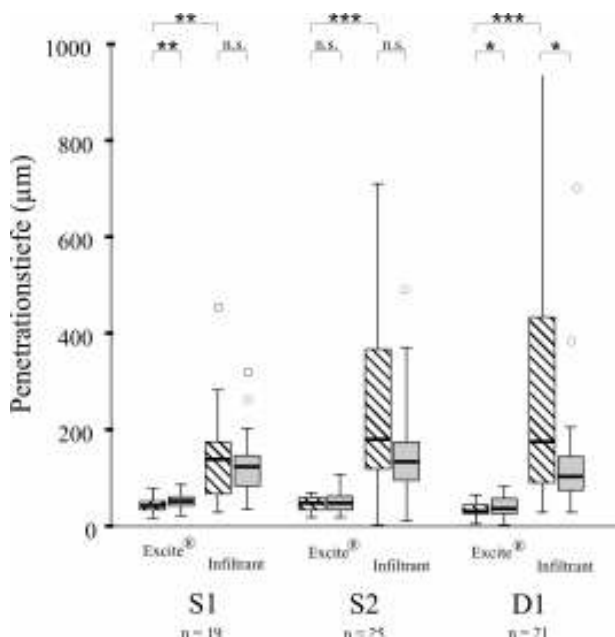


Abb. 57: Penetrationstiefen (µm) der Materialien getrennt dargestellt nach histologischer Läsionsausdehnung für die mit Excite® bzw. dem Infiltranten behandelten Läsionshälften. Penetrationstiefen, die mit Methode B bestimmt wurden, sind mit schraffierten Boxen dargestellt, während solche, die anhand von Bildern im Trans-Modus gemessen wurden, grau dargestellt sind. Signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen sind mit Sternen gekennzeichnet (p < 0,05 *; p < 0,01 **; p < 0,001 ***; Wilcoxon).

Zwischen den drei Läsionsausdehnungen konnten weder bei histologischer (Abb. 57) noch bei radiologischer (Tab. 27) Einteilung signifikante Unterschiede hinsichtlich der Penetrationstiefen des Adhäsivsystems bzw. des Infiltranten gefunden werden ($p \geq 0,05$; Kruskal-Wallis). Dennoch konnten bei den bis in das Dentin extendierten Läsionen (D1, R3) deutlich größere Penetrationstiefen des Infiltranten im Vergleich zu Excite® bestimmt werden. Die mittleren maximalen Penetrationstiefen von 432 (311) μm des Infiltranten verdeutlichen exemplarisch die teilweise vollständige Durchdringung der Läsion im Vergleich zu der meist nur oberflächlichen Penetration von Excite® [60 (25) μm].

Tab. 27: Mit Methode B bestimmte mittlere Penetrationstiefen (Standardabweichungen) in μm der drei Gruppen aufgeteilt nach der radiologischen Ausdehnung der Karies

Radioluzenz Gruppe	R0	R1	R2	R3
N	11	37	11	6
Excite®	42 (16)	42 (18)	40 (18)	43 (17)
Infiltrant	165 (145)	238 (217)	239 (203)	326 (193)

Die mittleren Dicken der verbliebenen Oberflächenschichten (OS) der 130 Läsionshälften betragen 10 (17) μm und unterschieden sich nicht signifikant bezüglich der Verwendung der beiden Materialien. Läsionen, deren Oberflächenschichten durch die Ätzung komplett entfernt werden konnten ($n= 44$), zeigten nach Behandlung mit dem Infiltranten signifikant größere Penetrationstiefen [270 (214) μm] im Vergleich zu den jeweiligen Läsionen, die nach Ätzung Reste der Oberflächenschichten aufwiesen [158 (151) μm] ($p < 0,01$; Mann-Whitney-Test). Dieser Unterschied war bei Applikation von Excite® nicht so stark ausgeprägt [keine OS: 46 (16); mit OS 37 (18)] ($p = 0,052$; Mann-Whitney-Test)

Die qualitativen Darstellungen verdeutlichen die unterschiedlichen Penetrationstiefen der beiden verwendeten Materialien sowie die Schwierigkeiten bei der visuellen Darstellung des Infiltranten. Bei Visualisierung mit Methode B konnte bei den mit dem experimentellen Infiltranten behandelten Läsionshälften nicht in allen Fällen eine klare Abgrenzung zwischen rot fluoreszierendem Kunststoff, verbliebener Oberflächenschicht und grün fluoreszierendem Porenvolumen vorgenommen werden. Im Gegensatz zu den korrespondierenden Läsionshälften, die mit Excite behandelt wurden, konnten teilweise ausgeprägte dunkle Zonen im Bereich der Läsionskörper visualisiert werden, die sich in der mikroradiografischen Darstellung als stark demineralisierte Bereiche darstellten, so dass diese Zonen als entfärbte, infiltrierte Infiltrantenschichten gewertet wurden. Die Darstellung im Trans-Modus erlaubte

zwar eine Abgrenzung des rot fluoreszierenden Kunststoffes vom Läsionskörper, allerdings korrespondierten die visualisierten Penetrationstiefen des Infiltranten nicht in allen Fällen mit denjenigen, die mit Methode B bestimmt werden konnten (Abb. 58 und 59).

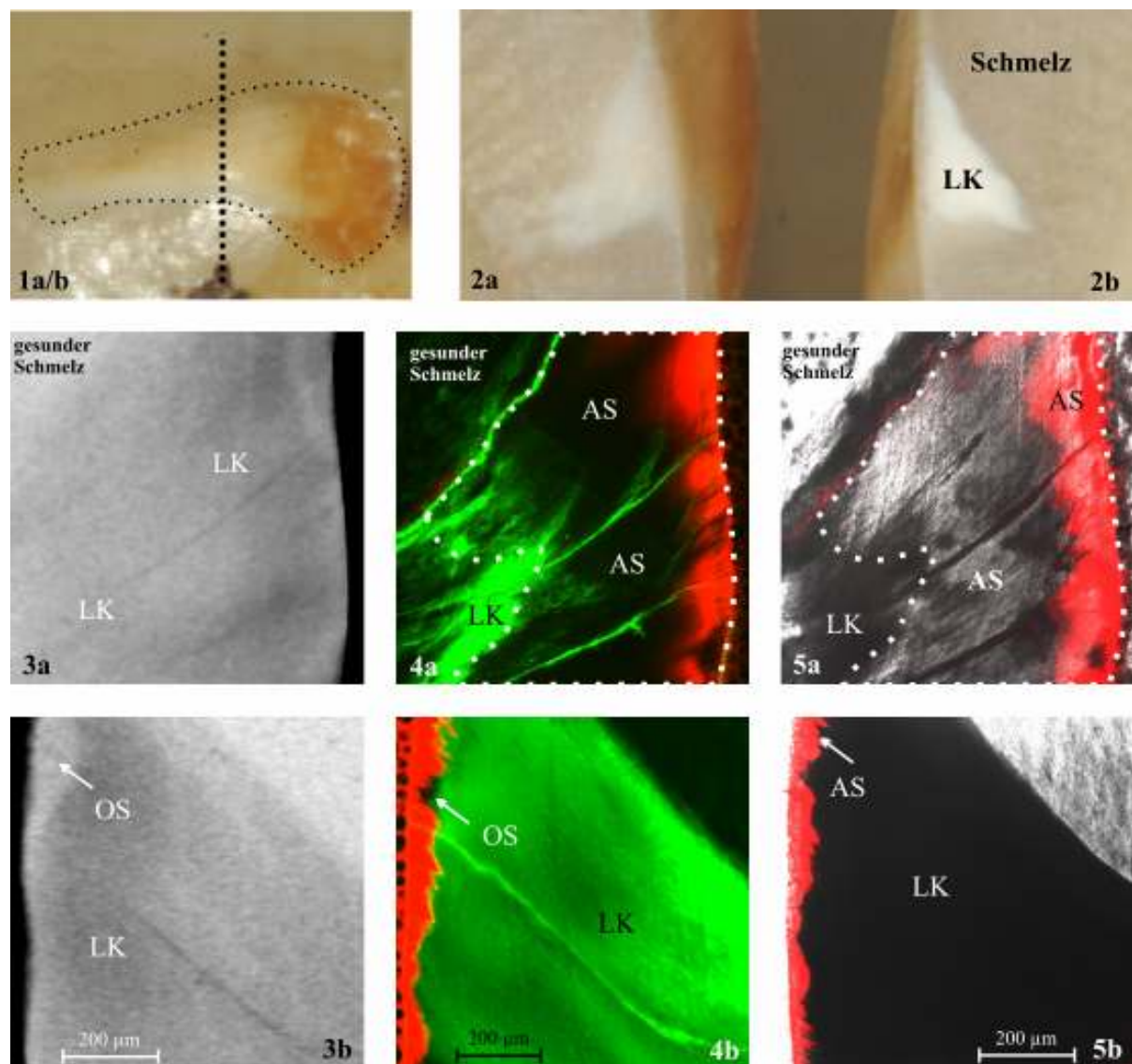


Abb. 58: Exemplarische Darstellungen (makroskopisch, CLSM und TMR) von jeweils zwei korrespondierenden Läsionshälften, die mit dem Infiltranten (a) bzw. Excite® (b) behandelt wurden. Die weißliche, glatte Oberfläche der Läsion (1a/b) lässt eine Schmelzkaries vermuten (2a und 2b). Bei Verwendung des Infiltranten erkennt man im Trans-Modus (5a) eine ca. 150 µm tiefe rot fluoreszierende Zone (AS) sowie eine gräuliche mehrere hundert Mikrometer breite Zone (...) im Bereich des Läsionskörpers (LK). Diese Zone ist in dem mit Methode B (4a) angefertigten Bild als dunkle Zone zu erkennen, die bei mikroradiografischer Darstellung (3a) als eine Zone mit erhöhtem Porenvolumen imponiert, so dass es sich hierbei um penetrierte Infiltranten (kein Röntgenkontrast) handelt. Die mit Excite behandelte Läsionshälfte (3b-5b) zeigt eine mit den Abschnitten 4b und 4c vergleichbare geringe Penetration.

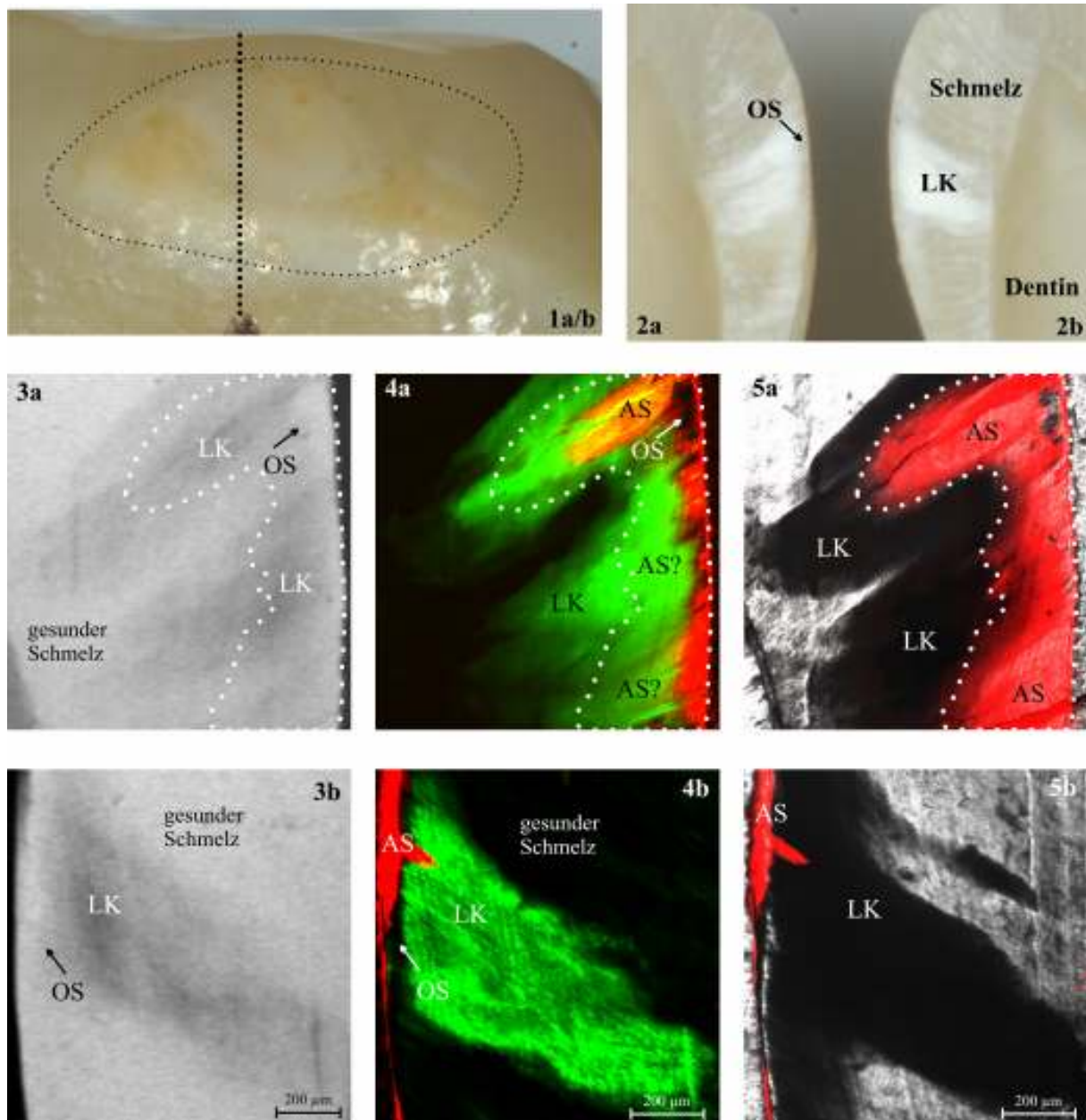


Abb. 59: Exemplarische Darstellungen (makroskopisch, CLSM und TMR) von jeweils zwei korrespondierenden Läsionshälften, die mit dem Infiltranten (a) bzw. Excite® (b) behandelt wurden. Die weißliche, glatte Oberfläche der Läsion (1a/b) lässt eine Schmelzkaries vermuten, die nach senkrechtem Schnitt durch die Läsion (---) bereits als eine beginnende Dentinkaries imponiert (2a und 2b). Bei Verwendung des Infiltranten erkennt man im Trans-Modus (5a) eine teilweise mehrere hundert Mikrometer tiefe Penetration (.....), die mit Methode B (4a) nicht gleichermaßen dargestellt wurde. Anhand der mikroradiografischen Aufnahme (3a) wird ersichtlich, dass die mit Methode B grünlich dargestellten Bereiche unterhalb der rot fluoreszierenden Adhäsivschicht (AS) ein erhöhtes Porenvolumen aufweisen, so dass es sich hierbei sowohl um den penetrierten Infiltranten (keinen Röntgenkontrast) als auch um den Läsionskörper handeln könnte. Die mit Excite® behandelte Läsionshälfte (3b-5b) zeigt eine vergleichbare geringe Penetration, wie in den Abschnitten 4b und 4c.

6 FALLBESCHREIBUNG

6.1. Klinische Behandlung eines Prämolaren mittels der Kariesinfiltration

Zur Veranschaulichung der klinischen Durchführung der Kariesinfiltration approximaler Läsionen wurde eine röntgenologisch diagnostizierte D1-Läsion an Zahn 15 mesial bei einer 26-jährigen Patientin behandelt (Abb. 60 a-c).



Abb. 60: Bei der klinischen Untersuchung der 26-jährigen Patientin wurde eine teilweise mit Kompositrestaurationen versorgte, vollbezahnte Dentition festgestellt. Aufgrund des Verdachtes weiterer approximaler Läsionen sowie insuffizienter approximaler Füllungen wurden Bissflügelröntgenaufnahmen angefertigt, die im I. und IV. Quadranten (a) proximale, auf den Schmelz begrenzte Läsionen an den Zähnen 16 mesial, 14 mesial, 13 distal, 45 distal und 46 mesial sowie eine bis in das Dentin hineinreichende Läsion an 15 mesial aufzeigten (b), die klinisch nicht sichtbar war (c). Darüber hinaus wurden insuffiziente Versorgungen bzw. Sekundärkaries an den Zähnen 17, 16, 14 und 47 festgestellt (a). Diese Versorgungen waren zum Zeitpunkt der in diesem Abschnitt beschriebenen Kariesinfiltration bereits *alio loco* versorgt worden.

Die Patientin wurde über die Vor- und Nachteile einer Infiltrationsbehandlung kariöser Läsionen aufgeklärt. An Zahn 15 mesial wurde aufgrund der bis in das Dentin hineinreichenden Ausdehnung die Indikation für eine Infiltrationsbehandlung gestellt.

Nach Reinigung des betroffenen Zahnes sowie der Nachbarzähne wurde zunächst Kofferdam (Hygienic Dental Dam, Coltene Whaledent, Konstanz) von Zahn 14 bis 16 mit Hilfe einer Klammer (Ivory Nr. 8, Columbus Dental, St. Louis, USA) an Zahn 16 angelegt. Ein manuell modifizierter (Abflachung der Dreiecksspitze) Separationskeil (Ahorn Interdentalkeil orange; Hawe Neos, Gentilino, Schweiz) wurde für ca. eine Minute appliziert. Hiernach wurde mit einem geringfügig breiteren Keil (grün) eine weitere Separation der Zähne durchgeführt, so dass ein Applikationsstreifen (maximale Dicke: 100 µm) ohne Widerstand in den Approximalraum eingeführt werden konnte (Abb. 61 a-d).

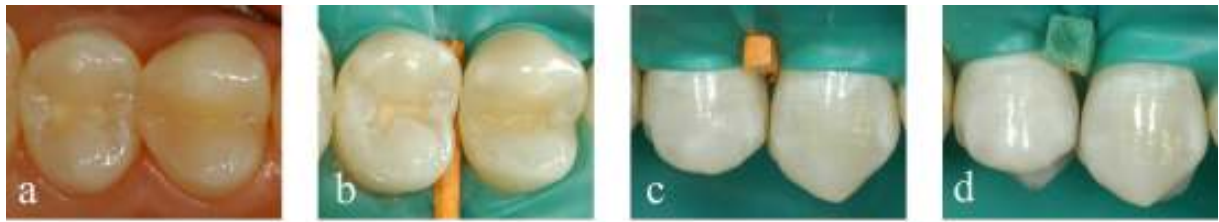


Abb. 61: Nach Reinigung (a) und dem Anlegen des Kofferdams (b) wurden die Zähne 14 und 15 mit Hilfe von manuell abgeflachten Holzkeilen separiert. Hierbei wurde zunächst ein Keil mit einem kleineren Querschnitt (b und c) verwendet und hiernach ein Keil mit einem größeren Querschnitt appliziert (d), so dass eine ca. 100 µm breite Separation der Zähne resultierte.

Das Salzsäuregel (DMG, Hamburg) wurde auf das Applikationsfeld (Josef-Papier; Buehler, Düsseldorf, befestigt mit Pritt permanent; Henkel, Düsseldorf) des entsprechenden Streifens (Polyacrylfolie; Degussa, Düsseldorf) aufgetragen und der Streifen *in situ* platziert. Nach einer Einwirkzeit von zwei Minuten wurde das Salzsäuregel abgesprüht und die Läsion getrocknet (Luft-Wasseransatz Dentaleinheit). Hiernach war ein opakes Ätzmuster der entsprechenden Bereiche zu erkennen. Die Läsion wurde nunmehr mit Ethanol (Sigma Aldrich) behandelt, wodurch im anschließenden Trocknungsvorgang eine möglichst vollständige Elimination von Feuchtigkeit innerhalb der Läsion erzielt werden sollte (Abb. 62 a-c).



Abb. 62: Das Salzsäuregel (a) wurde mit Hilfe eines mit einem Linsenpapier beschichteten Applikationsstreifen aus Polyacryl für zwei Minuten appliziert (b). Anschließend wurde der Bereich mit Wasser abgesprüht und hiernach mit Ethanol (100 %) benetzt, um bei dem anschließenden Trocknungsvorgang eine möglichst feuchtigkeitsfreie Läsion zu erzielen.

Hiernach wurde der Infiltrant (DMG, Hamburg) auf das Applikationsfeld des entsprechenden Streifens aufgetragen und dieser für zwei Minuten im Bereich der zu behandelnden approximalen Fläche positioniert, so dass eine Durchdringung der Läsion ermöglicht wurde. Vorhandene Überschüsse wurden mit Hilfe der Reinigungslamellen sowie durch leichtes Verblasen entfernt. Hiernach erfolgte die Lichthärtung für 40 Sekunden (Astralis 5, Ivoclar Vivadent). Verbliebene Infiltrantenüberschüsse wurden abschließend mit einem approximalen

Polierstreifen (Soflex Finierstreifen, 3M Espe) entfernt und die Oberfläche der approximalen Fläche poliert (Abb. 63 a-c).

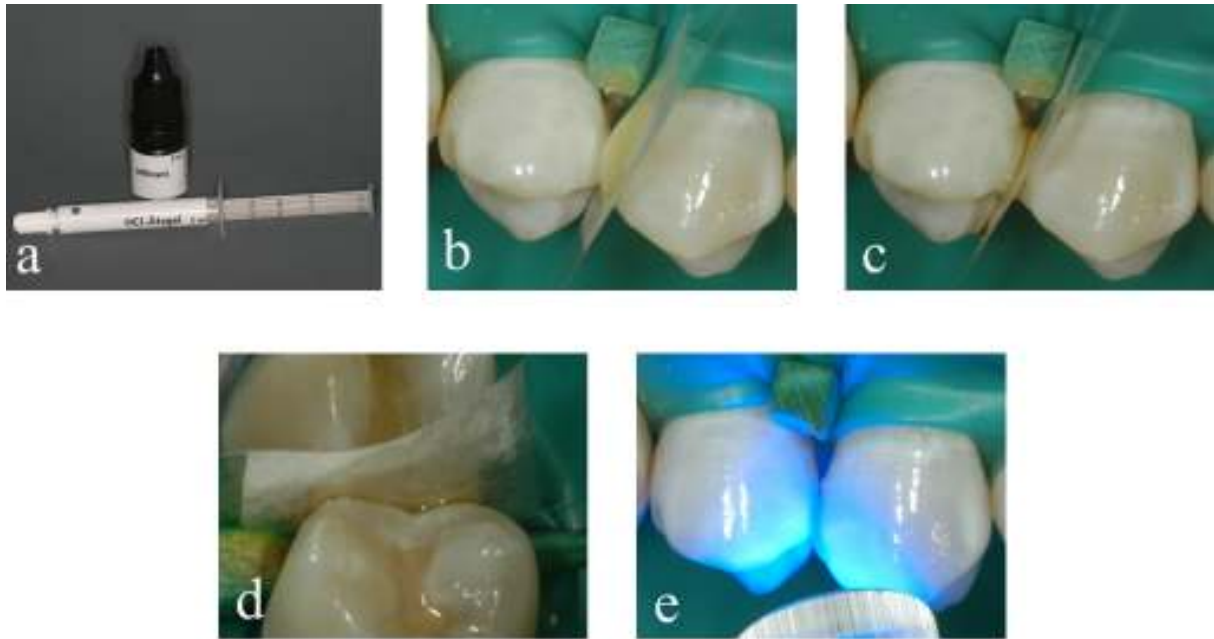


Abb. 63: Der Infiltrant (a) wurde mit dem beschriebenen Applikationsstreifen von lateral in den Approximalraum eingeführt (b). Deutlich erkennt man die benetzenden Eigenschaften sobald ein Kontakt mit der Zahnoberfläche besteht (c). Trotzdem scheint der Infiltrant ausschließlich den zu behandelnden Zahn zu erreichen, auch wenn gewisse Bereiche der okklusalen Fläche vom Infiltranten benetzt werden (d). Nach Beseitigung von Überschüssen erfolgte die Lichthärtung für 40 s (e).

Nach Entfernung des Keilchens sowie des Kofferdams imponierte eine leichte Retraction der Papille, die bei der Kontrolluntersuchung fünf Tage nach der Behandlung nicht mehr zu erkennen war (Abb. 64 a-c).



Abb. 64: Die Papille wurde durch das Anlegen des Kofferdams sowie die Applikation des Keilchens leicht verdrängt (a). Fünf Tage nach Behandlung ist eine Rückstellung der Zähne und die Ausbildung eines Kontaktpunktes erkennbar; die Papille füllt das interdental Dreieck wieder vollständig (b und c).