Aus der Abteilung für Kieferorthopädie, Orthodontie und Kinderzahnmedizin
der Medizinischen Fakultät Charité – Universitätsmedizin Berlin

DISSERTATION

Veränderung der Fluoridfreisetzung, des Biege- und Bruchverhaltens, der linearen Dimension sowie der Oberflächenstruktur eines Autopolymerisates mit Fluoridzusatz während 36-wöchiger Wasserlagerung

zur Erlangung des akademischen Grades
Doctor medicinae dentariae (Dr. med. dent.)

vorgelegt der Medizinischen Fakultät
Charité - Universitätsmedizin Berlin

von

Barbara Meyl
aus Forst/Lausitz

Datum der Promotion: 11.12.2015

Abkürzungsverzeichnis

AmF:	Aminfluorid
CaF_2:	Kalziumfluorid
DIN:	Deutsches Institut für Normung e. V.
DMFT:	Abkürzung für die Beurteilung eines defekten bleibenden Zahnes, dabei bedeutet: D = decayed (kariös), M = missing (fehlend), F = filled (gefüllt), T = tooth (Zahn). Ein Index von 1 bedeutet, dass von 28 bleibenden Zähnen – Weisheitszähne werden nicht berücksichtigt – 1 Zahn entweder fehlt oder kariös beziehungsweise gefüllt ist.
Dmft:	Entspricht dem DMFT, wird aber ausschließlich an Milchzähnen erhoben. Zur Unterscheidung von den bleibenden Zähnen wird dieser Index mit Kleinbuchstaben bezeichnet.
DMS:	Deutsche Mundgesundheitsstudie
F:	Fluor
FS:	Fluoridiertes Speisesalz
HF:	Fluorwasserstoff; Flusssäure ist die wässrige Lösung von HF
ISO:	International Organization for Standardization
KOH:	Kaliumhydroxid
mV:	Millivolt
Na:	Natrium
NaF:	Natriumfluorid
PMMA:	Polymethylmethacrylat
ppm:	parts per million
R_a:	Mittenrauwert
R_{max}:	Maximale Rautiefe

R_q:	Mittenrauwert
R_t:	Maximale Rautiefe
R_z:	Gemittelte Rautiefe
TISAB:	Total ionic strength adjustment buffer
WHO:	World Health Organization

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis ... 3

1 Zusammenfassungen ... 9

1.1 Zusammenfassung ... 9

1.2 Abstract ... 11

2 Einleitung ... 13

3 Literaturübersicht ... 16

3.1 Fluoride und deren kariespräventive Bedeutung ... 16

3.1.1 Chemie des Fluors und der Fluoride ... 17

3.1.2 Kariesprotektive Wirkung von Fluoriden ... 18

3.2 Fluoridierungsmaßnahmen ... 21

3.2.1 Tablettenfluoridierung ... 21

3.2.2 Trinkwasserfluoridierung ... 23

3.2.3 Speisesalzfluoridierung ... 25

3.2.4 Fluoridhaltige Zahnpasten ... 30

3.2.5 Fluoridhaltige Mundspüllösungen ... 34

3.2.6 Fluoridhaltige Gele ... 36

3.2.7 Fluoridlacke ... 38

3.3 Fluoridtoxikologie ... 39

3.4 Fluoridfreisetzende Materialien ... 40

3.4.1 Glasionomerzemente 41

3.4.2 Komposite 42

3.4.3 Kompomere 44

3.4.4 PMMA-Kunststoffe 46

4 Fragestellung 52

5 Material und Methode 53

5.1 Untersuchtes Material 55

5.2 Herstellung der Prüfkörper 55

5.3 Lagerung der Prüfkörper 60

5.4 Bestimmung der Fluoridfreisetzung 61

5.5 Bestimmung der Dimensionsänderung 64

5.6 Bestimmung der Oberflächenrauheit 68

5.7 Bestimmung der Biege- und Brucheigenschaften 70

5.8 Statistische Auswertung der Ergebnisse 74

6 Ergebnisse 75

6.1 Fluoridfreisetzung 75

6.2 Dimensionsverhalten 76

6.3 Veränderung der Oberflächeneigenschaften 77

6.4 Veränderung der Biege- und Brucheigenschaften 81

7 Diskussion 87

7.1 Diskussion der Fragestellung ... 87

7.2 Diskussion der Materialauswahl ... 88

7.3 Diskussion der Untersuchungsmethoden ... 88

7.3.1 Prüfkörperherstellung ... 88

7.3.2 Wasserlagerung und Fluoridbestimmung ... 91

7.3.3 Dimensionsverhalten ... 93

7.3.4 Profilometrie ... 94

7.3.5 Biege- und Brucheigenschaften ... 99

7.4 Ergebniskritik ... 103

7.4.1 Diskussion der Fluoridfreisetzung ... 103

7.4.2 Diskussion des Dimensionsverhaltens ... 107

7.4.3 Diskussion der Oberflächeneigenschaften ... 109

7.4.4 Diskussion der mechanischen Eigenschaften ... 112

7.4.4.1 Biegefestigkeit ... 112

7.4.4.2 Biegemodul ... 114

7.4.4.3 Durchbiegung bei 15 N und 50 N ... 115

8 Ausführliche Zusammenfassungen ... 116

8.1 Ausführliche Zusammenfassung ... 116

8.2 Summary ... 120

9 Literaturverzeichnis ... 125

10 Anhang ... 147

10.1 Verwendete Geräte und Materialien 147

10.2 Eidesstattliche Versicherung 151

10.3 Lebenslauf 152

10.4 Danksagung 153

10.5 Tabellenverzeichnis 154

1 Zusammenfassungen

1.1 Zusammenfassung

Ziel dieser In-vitro-Untersuchung war die Bestimmung und Beurteilung der Fluoridfreisetzung, des Biege- und Bruchverhaltens, der linearen Dimensionsstabilität sowie der Oberflächenstruktur von Orthocryl® Plus[1] während 36 Wochen Lagerung in deionisiertem Wasser[13].

Nach einer anfänglichen Steigerung der Fluoridfreisetzung (Konzentration im Eluat), die in der 8. Woche mit 3,8 ppm ihr Maximum erreichte, fiel diese danach zwar wieder, betrug aber auch in der 36. Woche noch 0,5 ppm. Die Kurve der ermittelten Fluoridwerte gegen die Zeit lässt vermuten, dass noch über einen längeren Zeitraum Fluoridionen freigesetzt worden wären. Es ist davon auszugehen, dass kieferorthopädische Apparaturen aus Orthocryl® Plus[1] bis zum Ende ihrer Tragezeit Fluoridionen - wenn auch in abnehmender Menge - abgeben.

Während der 36 Wochen Wasserlagerung kam es anfänglich zu einer geringfügigen Expansion der Prüfkörper um etwa 0,35 %. Ab der 8. Woche blieb die Länge der Prüfkörper nahezu unverändert.

Die Ergebnisse der Profilometrie zeigen, dass sich die Oberflächenmorphologie

von Orthocryl® Plus[1] während der 36 Wochen Wasserlagerung nicht signifikant verändert hat. So lag der Mittenrauwert R_a während des gesamten Versuchszeitraums zwischen 1,20 µm und 1,50 µm. Die mittlere maximale Rautiefe R_{max} erreichte Werte zwischen 11,75 µm und 13,39 µm, die gemittelte Rautiefe R_z 8,70 µm bis 9,50 µm, die maximale Rautiefe R_t 12,59 µm bis 14,30 µm und der Mittenrauwert R_q 1,72 µm bis 1,91 µm.

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit liegen mit einer höchsten mittleren Biegefestigkeit von 90 MPa nach einer Woche Wasserlagerung und der niedrigsten mittleren Biegefestigkeit von 81 MPa nach 20 Wochen über den gesamten Versuchszeitraum deutlich über 50 MPa.

Der Biegemodul von Orthocryl® Plus[1] liegt während der 36 Wochen Wasserlagerung bei durchschnittlich 2.863 MPa (28. Woche) bis 3.202 MPa (1. Woche) .

Die Durchbiegung bei einer Belastung von 15 N wurde während der 36 Wochen Wasserlagerung 10-mal im 3-Punkt-Biegeversuch ermittelt. Der Mittelwert lag zwischen 0,31 mm und 0,35 mm nach 12 Wochen. Auch bei einer Belastung mit 50 N änderte sich die Durchbiegung im Untersuchungszeitraum kaum (im Mittel 1,48 mm nach 20 Wochen und 1,33 mm nach 36 Wochen).

Während des gesamten Versuchszeitraumes erfüllte Orthocryl® Plus[1] somit gemäß DIN EN ISO 20795-2 [49] die mechanischen Anforderungen.

1.2 Abstract

The intention of this in vitro study was to determine and evaluate the fluoride release, the bending and fracture behavior, the linear dimensional stability and surface structure of Orthocryl® Plus[1] containing 10 % CaF_2 during a period of 36 weeks stored in double-distilled water.

After fluoride release (concentration in the eluate) reaches its maximum of 3.8 ppm in the eighth week, it subsequently fell, but was still 0.5 ppm in the 36th week. The graph of fluoride concentration versus the time suggests, that fluoride ions would have been released still for a long time.

During the 36 weeks of water storage, initially there was a minor expansion of the specimens of approximately 0.35%. After 8 weeks, however, an equilibrium was reached and the length of the specimens remained almost unchanged.

The results of profilometric examination show us, that the surface morphology of Orthocryl® Plus[1] does not change significantly during the 36 weeks of water storage. Thus, the value of the roughness (R_a) was between 1.20 µm and 1.50 µm during the entire experimental period. The average value of maximum roughness (R_{max}) was 11.75 µm to 13.39 µm, of roughness (R_z) 8.70 µm to 9.50 µm, of maximum roughness (R_t) 12.59 µm to 14.30 µm and of the middle-

roughness (R_q) 1.72 µm to 1.91 µm.

The results of the tests are ranging between 90 MPa after one week water storage as highest and 81 MPa after 20 weeks as lowest medium flexural-strength, over the entire test period significantly higher than 50 MPa.
The flexural modulus of Orthocryl® Plus[1] averages during the 36 weeks water storage between 2.863 MPa and 3.263 MPa, which was always significantly higher than 1.500 MPa.
The deflection at a load of 15 N was determined 10 times during 36 weeks storage in water in 3-point bending test. With an average maximum value of 0.35 mm after 12 weeks and a minimum value of 0.31 mm after 36 weeks water storage, there were no significant changes of deflection during the study. Even with a load of 50 N fluctuated the deflection between a mean maximum value of 1.48 mm after 20 weeks and a mean minimum value of 1.33 mm after 36 weeks by only a small amount.
Over the entire test period there was no degradation of the mechanical properties considering to DIN EN ISO 20795-2 [49].

2 Einleitung

Als Teilgebiet der Zahnmedizin befasst sich die Kieferorthopädie mit der Behandlung von Fehlstellungen der Kiefer und Zähne. Durch die Herstellung von Eugnathie soll unter anderem eine Erleichterung der Zahnpflege erreicht und somit ein Beitrag zur Karies- und Parodontitisprophylaxe geleistet werden.
Leider werden durch das Tragen von kieferorthopädischen Apparaturen zusätzliche Plaqueretentionsnischen geschaffen, so dass sich während der Behandlung das Kariesrisiko erhöht [75,87,158,177]. Um der Gefahr des Entstehens von Demineralisationen oder kariösen Defekten in dieser Zeit entgegenzuwirken, ist neben einer angepassten Mundhygiene und Ernährung besonderes Augenmerk auf Fluoridierungsmaßnahmen zu richten [58,59,136].
Der große Erfolg der Fluoride in der Zahnmedizin beruht unter anderem auf der Tatsache, dass – anders als bei zahngesunder Ernährung und Mundhygienetraining – keine Änderung des Verhaltens erforderlich ist. Allein durch ihr Vorhandensein im wässrigen Mundmilieu der Mundhöhle wirken Fluoride auf mehrfache Weise kariesprotektiv:

– sie fördern die Remineralisation [54,93,132,224,243],
– sie hemmen die Demineralisation [54,93,107,132,224],
– sie bilden eine Kalziumfluorid-Deckschicht aus, die als Fluoriddepot wirkt [4,167,192,218],

– sie erschweren die Adhäsion von Bakterien an die Zahnoberfläche und tragen so zur Plaquereduktion bei [226,250],
– sie hemmen den Bakterienstoffwechsel, was dazu führt, dass weniger Säuren produziert werden [83,84,93,216,237].

Da alle genannten Wirkmechanismen bei direktem Kontakt des Fluorids mit der Zahnoberfläche greifen [124,212], hat sich als Alternative zur systemischen Fluoridierung die lokale Fluoridapplikation etabliert. Hierbei hat es sich als günstig erwiesen, Fluorid möglichst häufig zu applizieren [4,165,212]. Es reichen bereits geringe Fluoridmengen aus, um eine karieshemmende Wirkung zu erreichen [93]. Das hierfür erforderliche Fluorid kann durch lokale Fluoridierungsmaßnahmen auf die Zähne aufgebracht werden, was jedoch entweder eine Applikation durch den Zahnarzt oder die Mitarbeit des Patienten erfordert. Durch das Beimengen von Fluorid zu PMMA-Kunststoff, wie er zur Herstellung kieferorthopädischer Apparaturen verwendet wird, kann ein langfristiges Angebot kleiner Fluoridmengen sichergestellt werden [35,155,156,182]. Bei Orthocryl® Plus[1] handelt es sich um ein solches, vorwiegend in der Kieferorthopädie eingesetztes, kaltpolymerisierendes Polymethylmethacrylat, das zirka 10 % CaF_2 enthält.

Ziel der vorliegenden In-vitro-Untersuchung ist einerseits die Bestimmung der Fluoridfreisetzung von Orthocryl® Plus[1] während 36 Wochen Wasserlagerung. Darüber hinaus werden das Dimensionsverhalten, die Oberflächenstruktur

sowie die Biege- und Brucheigenschaften während der Wasserlagerung untersucht, um die mechanischen Eigenschaften des PMMA-Kunststoffes mit Kalziumfluorid zu bestimmen.

3 Literaturübersicht

3.1 Fluoride und deren kariespräventive Bedeutung

Zu Beginn der 1980er Jahre wurde erstmals über einen drastischen Kariesrückgang in der kindlichen und jugendlichen Population westlicher Industrienationen berichtet [76,80,118,120,138,141,176]. Dieser Trend konnte inzwischen auch in Deutschland nachgewiesen werden [24,118]. So wurde in Deutschland 1993 in der DMS-II-Studie [153] noch über einen DMFT von 3,3 berichtet, während 1997 der DMFT für alle 12-Jährigen bereits 1,7 betrug [154] und in der DMS-IV-Studie (2007) Werte deutlich unter DMFT 1,0 ermittelt wurden [200,215]. Dieses Phänomen wird hauptsächlich auf den hohen Marktanteil fluoridhaltiger Zahnpasten zurückgeführt. Ohne die systematische Anwendung von Fluorid wäre die heute erreichte gute Zahngesundheit in weiten Teilen der jugendlichen Generation nicht möglich gewesen [76,120,141].

Bereits 1874 empfahl ERHARD laut RING [189] die Einnahme von Kalziumfluorid zum Erhalten der Zahngesundheit.

Als Ursache für die Entstehung gefleckten Zahnschmelzes („mottled teeth“) wurde zu Beginn des 20. Jahrhunderts in Colorado durch MCKAY und BLACK [148] sowie in Neapel durch EAGER [55] eine erhöhte Fluoridaufnahme, insbesondere mit dem Trinkwasser, festgestellt. Nachfolgend konnten epidemiolo-

gische Untersuchungen von DEAN et al. [41] den Nachweis eines parallelen kariespräventiven Effekts durch die Fluoridaufnahme erbringen. 1936 gaben die Autoren als optimale Konzentration von Fluorid im Trinkwasser 1 ppm (1 mg/l) an; bei höherer Konzentration stiege das Risiko einer Dentalfluorose.

3.1.1 Chemie des Fluors und der Fluoride

Fluor ist ein nichtmetallisches, gasförmiges chemisches Element mit dem Symbol F und der Ordnungszahl 9. Im Periodensystem steht es in der zweiten Periode und in der 7. Hauptgruppe, gehört somit zu den Halogenen. Fluor ist ein sehr giftiges, farbloses, in hohen Konzentrationen gelb-grünes Gas und ist schwerer als Luft. Nach dem Vorkommen in der Erdrinde steht es an 17. Stelle. Es ist das reaktivste, da elektronegativste chemische Element, das somit frei in der Natur nicht vorkommt. Fluor ist hier nur in Form von Fluoriden und Fluorkomplexsalzen anzutreffen [216].

Fluoride sind Salze der Fluorwasserstoffsäure (HF), die in ihrem Ionengitter als negative Gitterbausteine Fluoridionen (F^-) enthalten. Fluoride kommen in der Natur überall vor. Meerwasser enthält pro Liter etwa ein Milligramm gelöstes Fluorid. Der Gehalt von Fluorid im Trinkwasser ist in Deutschland im Allgemeinen niedrig. Mehr als 90 % des Trinkwassers enthalten weniger als 0,3 mg Fluorid pro Liter [52]. Fluoride sind auch ein natürlicher Bestandteil aller Lebe-

wesen. Über die Nahrungskette nehmen wir täglich zirka 0,1 mg bis 1,5 mg Fluorid auf [52]. Fluoride zeigen eine hohe Affinität zu knöchernem Gewebe. Sie wirken dort als Kristallisationskeim bei der Bildung von Apatit, einem sehr wichtigen anorganischen Bestandteil von Knochen und Zähnen [110].

3.1.2 Kariesprotektive Wirkung von Fluoriden

Lange ging man davon aus, dass die kariesprophylaktische Fluoridwirkung daher rührt, dass Fluorid in den Zahnschmelz eingebaut wird und ihn so dauerhaft vor Säureangriffen schützt. Heute wird die Grenzfläche „Zahnschmelz – dentale Plaque – Speichel“ als bedeutendster Wirkort für den kariesprotektiven Effekt des Fluoridions angesehen [33,124,135,201,212,216]. Entscheidend ist also der lokale Kontakt mit der Zahnoberfläche, weniger der präeruptive Einbau von Fluorid in die Zahnhartsubstanzen [32,196]. Hauptfaktor für die kariesprophylaktische Wirksamkeit ist der Einfluss des Fluorids auf die dynamischen Vorgänge von De- und Remineralisation des Zahnschmelzes [6,66,93,132]. Eine zentrale Rolle spielt dabei Kalziumfluorid, das bei der Reaktion von Fluorid mit den Kalziumionen der obersten Schmelzschichten und des Speichels entsteht und auf der Zahnoberfläche präzipitiert [4,167,192]. Diese Kalziumfluorid-Deckschicht ist relativ stabil, da sie durch Speichelbestandteile mit einer Proteinschicht überzogen und mit Phosphat angereichert wird und deshalb

schwer löslich ist [31,109,122,192,198,233]. Sie bildet auf der Zahnoberfläche ein lange verfügbares Depot an Fluoridionen zur Remineralisation [191,199,216, 243]. Demineralisierter Zahnschmelz nimmt mehr Fluorid auf als gesunder Schmelz [93]; auch ist die Ausbildung der Kalziumfluorid-Deckschicht deutlicher ausgeprägt als auf gesunden Zahnoberflächen [246]. Durch die fortdauernde Anwesenheit von Fluorid können sogar initiale Kariesläsionen – so genannte white spots – remineralisiert werden [5,43,92,169,230,244].

Da das Fluoridion ein starker Enzyminhibitor ist, hemmt es in hohen Konzentrationen den bakteriellen Plaquestoffwechsel. Fluorid kann sich in der Plaque anreichern, wenn es dort auch nur teilweise ionisiert vorliegt [216]. Unter den sauren Bedingungen der Plaque dringt es als Fluorwasserstoff (HF) in die Bakterienzelle ein. Der neutrale intrazelluläre pH-Wert führt dazu, dass Fluorid wieder dissoziiert und den pH-Wert absenkt [216]. Infolge dieser Übersäuerung kommt es durch die unspezifische Hemmung verschiedener Enzyme (pH-Optimum im basischen Bereich) zu einer eingeschränkten Glykolyse des Bakteriums [84,93]. Zum anderen geht Fluorid mit dem magnesiumabhängigen Enzym Enolase eine Verbindung ein und hemmt auf diese Weise die Umwandlung von 2-Phosphoenolglycerat zu Phosphoenolpyruvat [93,113]. Beide beschriebenen Effekte reduzieren sowohl den Energiegewinn der Bakterienzelle als auch deren Milchsäureproduktion [84,237].

Bei den Fluoridverbindungen, die auch klinisch zu einer Hemmung der Plaquebildung führen, handelt es sich vor allem um Fluoridverbindungen, bei denen

das Fluorid an Metallionen gebunden ist (z. B. Zinnfluorid). Antibakteriell wirkt dabei das Metallkation, das eine bakterizide Wirkung auf Plaquebakterien ausübt [114,246].

Ein weiteres Wirkprinzip des Fluorids ist die Verminderung der Säurelöslichkeit durch dessen festen Einbau in das Kristallgitter der Zahnhartsubstanzen. Da der anorganische Anteil der Zahnhartsubstanzen zu einem großen Teil aus nicht stöchiometrischem Apatit besteht und viele Kristalle Defekte und Fehlstellen aufweisen, kommt es zu einer erhöhten Löslichkeit [93]. Der Einbau von Fluorid während der präeruptiven Schmelzreifung hat eine stabilere Kristallgitterstruktur und geringere Löslichkeit des Apatits zur Folge [7,93,227]. Diese reduzierte Löslichkeit des Fluorapatits gegenüber dem Hydroxylapatit wurde lange Zeit als Hauptursache für die Karieshemmung durch Fluoride angesehen [93]. In der Regel werden unter klinischen Bedingungen jedoch nur bis zu 10 % der OH-Gruppen im Apatit isomorph substituiert [93,125,216]. Das bedeutet, dass die präeruptive Einlagerung von Fluorid nur einen geringen Anteil an der kariespräventiven Wirkung von Fluoriden hat [93].

Heute wird der remineralisierenden Wirkung des Fluorids eine größere Bedeutung beigemessen als der durch den präeruptiven Einbau von Fluorid hervorgerufenen Stabilisierung des Schmelzes gegenüber einer Demineralisation [65,93, 133,216,217,228,229,246].

Bei der Fluoridierung wird zwischen systemischer Fluoridapplikation (z. B. Tablettenfluoridierung, Trinkwasserfluoridierung, Salzfluoridierung) und der

lokalen Fluoridapplikation (z. B. Zahnpasten, Lacke, Spüllösungen, Gele) unterschieden. Zu den systemischen Fluoridierungsarten zählen die Maßnahmen, bei denen Fluorid per os aufgenommen, im Magen-Darm-Trakt resorbiert und anschließend in geringen Mengen mit dem Speichel sezerniert wird. Die systemische Fluoridierung hat auch einen Kontakt von Fluorid mit noch nicht durchgebrochenen Zähnen und somit einen präeruptiven Einbau von Fluorid in die Zahnhartsubstanzen zur Folge [246]. Diesem Einbau von Fluorid während der primären Mineralisation wird aber nur noch eine untergeordnete kariesprophylaktische Rolle zugeschrieben [65,82,229,240,246]. Heute geht man davon aus, dass die kariespräventive Wirkung von Fluoriden hauptsächlich auf deren lokaler Anwendung an bereits durchgebrochenen Zähnen beruht, da Fluorid die De- und Remineralisierungsvorgänge beeinflusst [133,216,217,228,246]. Zu einem lokaler Kontakt der Zahnoberflächen mit Fluorid kommt es vor allem bei der lokalen, aber auch bei systemischen Fluoridierungen während die fluoridhaltigen Präparate oder Nahrungsmittel die Mundhöhle passieren [246].

3.2 Fluoridierungsmaßnahmen

3.2.1 Tablettenfluoridierung

Fluoridtabletten galten lange als eine gruppenprophylaktische Maßnahme mit

einer sehr hohen kariespräventiven Wirksamkeit [82]. In den letzten Jahren wurden jedoch nur noch wenige kontrollierte Studien veröffentlicht, die sich ausschließlich mit der Wirksamkeit der Tablettenfluoridierung befassten und deren Ergebnisse sind zum Teil widersprüchlich [82]. Möglicherweise hängt dies unter anderem mit der insgesamt höheren Verfügbarkeit von Fluorid zusammen, die es schwierig macht, einen isolierten Effekt von Fluoridtabletten zu erkennen [73,82].

GLENN [77] berichtete über bessere Kariesbefunde bei Kindern, deren Mütter während der Schwangerschaft Fluoridtabletten eingenommen hatten.

LEVERETT et al. [131] fanden jedoch keine Unterschiede bezüglich Kariesbefall und Kariesfrequenz bei Kindern, deren Mütter während der Schwangerschaft entweder täglich eine Fluoridtablette oder eine Placebo-Tablette eingenommen hatten. REICH et al. [184] konnten keine Unterschiede in den Kariesbefunden von Kindern feststellen, die entweder ab der Geburt (Zähne noch nicht durchgebrochen) oder erst ab dem 7. Lebensmonat (Durchbruch der ersten Milchzähne) Fluoridtabletten bekommen hatten.

Die Einnahme von Fluoridtabletten hat jedoch nachweisbar einen kariespräventiven Effekt, wenn die Tabletten regelmäßig und kontrolliert gelutscht werden [1,53,81,184,240]. Dies gelingt in einer kontrollierten schulischen Umgebung [1,53,81].

Werden Fluoridtabletten im frühen Kindesalter gegeben, steigt das Schmelzfluoroserisiko [40,131,240]. Dentalfluorose entsteht durch Schädigung des

Stoffwechsels der schmelzbildenden Ameloblasten in der präeruptiven Phase. Die Grenzdosis bei Kindern für die Ausbildung einer Fluorose im bleibenden Gebiss wird mit 0,02-0,1 mg F^-/kg Körpergewicht/Tag angegeben [64, 68]. Grundsätzlich sollte immer nur eine Form der systemischen Fluoridierung angewendet werden [246]. Vor Verordnung von Fluoridtabletten ist eine Fluoridanamnese unerlässlich.

Ein wesentlicher Vorteil der Tablettenfluoridierung gegenüber alternativen Fluoridierungsmaßnahmen liegt in deren exakter Dosierung. Fluoridiertes Speisesalz beispielsweise kann sehr unterschiedlich dosiert und darf darüber hinaus in öffentlichen Einrichtungen (Schulverpflegung, Restaurants) gar nicht verwandt werden.

Bei älteren Personen scheint die regelmäßige Anwendung von Fluoridspüllösungen bessere Erfolge zu bringen als Fluoridtabletten [74].

3.2.2 Trinkwasserfluoridierung

Bei der Trinkwasserfluoridierung handelt es sich um eine preiswerte und wirksame systemische Fluoridierungsmaßnahme [25,145]. Ihr Vorteil liegt unter anderem darin, dass sie unabhängig von der Mitarbeit der Bevölkerung wirkt [221,222].

Bereits 1938 konnten DEAN et al. [41] in Gebieten mit hohen Fluoridgehalten im

Trinkwasser eine verringerte Kariesprävalenz nachweisen, wobei sich 1 ppm Fluorid als optimale Konzentration erwies. Diese wurde später auch durch andere Autoren bestätigt [59,89,119,165]. Die Fluoridierung von Trinkwasser wurde 1945 in den USA eingeführt [42]. 1962 konnten ARNOLD et al. [8] einen Kariesrückgang von bis zu 50 % bestätigen.

In der DDR wurde 1959 die Trinkwasserfluoridierung in Karl-Marx-Stadt eingeführt und bis zu ihrer Beendigung 1990 wissenschaftlich begleitet [121].

KÜNZEL [120] ermittelte 1997 durch Trinkwasserfluoridierung mit einem Fluoridgehalt von 1 ppm im Vergleich zu Regionen ohne Fluorid im Trinkwasser eine Kariesreduktion von 50 %.

JONES et al. [103] verwiesen auf die sozialkompensatorische Wirkung der Trinkwasserfluoridierung. Sie untersuchten drei Einzugsgebiete hinsichtlich der Entwicklung der Mundgesundheit bei 5-Jährigen in Abhängigkeit vom Fluoridgehalt des Trinkwassers. Die Ergebnisse zeigten, dass Kinder aus den oberen sozialen Schichten, die bereits eine gute Mundgesundheit hatten, von der Trinkwasserfluoridierung wenig profitierten. Im Gegensatz zu den sozial benachteiligten Kindern, bei denen sich die Karieslast durch Trinkwasserfluoridierung um über 50 % reduzierte [251].

2000 wurden in einer Metaanalyse Studien zusammengestellt, in denen Zahngesundheit und andere Faktoren in Regionen mit und ohne Fluoridierung des Trinkwassers verglichen worden waren [147]. Die Autoren kamen zu dem Ergebnis, dass sich der Kariesbefall bei Kindern mit Fluoridierung um 15 % redu-

zierte. Sie schlussfolgerten, dass eine Trinkwasserfluoridierung vor Karies schützt, allerdings sei die Wirkung geringer als bis dahin angenommen. Darüber hinaus fanden sie heraus, dass bei einer Konzentration von 1 ppm Fluorid im Trinkwasser die Prävalenz der Fluorose knapp 50 % beträgt. Davon fällt ein Viertel ästhetisch ins Gewicht [147].

Laut World Health Organization [128] wurden 2004 weltweit rund 355 Millionen Menschen mit künstlich fluoridiertem Trinkwasser versorgt. Zu den Ländern, in denen dies einen großen Teil der Bevölkerung betrifft, gehörten beispielsweise Australien, Kolumbien, Irland, Israel, Malaysia, Neuseeland und die USA.

In Deutschland gibt es die Trinkwasserfluoridierung nicht mehr, weil sie von Teilen der Bevölkerung als Zwangsmedikation empfunden wird [251]. Auch in Basel (Schweiz), wo sie 1962 eingeführt wurde, wurde sie 2003 eingestellt, da durch eine Änderung der Lebensmittelgesetzgebung das Verkaufsverbot für fluoridiertes Salz aufgehoben und nun befürchtet wurde, dass die Bevölkerung überversorgt werden könnte [56,162].

3.2.3 Speisesalzfluoridierung

Die bislang durchgeführten Studien zur Speisesalzfluoridierung belegen deren Wirksamkeit übereinstimmend [23,29,39,62,82,101,135,137,140,142,149,151, 178,231].

Fluoridiertes Speisesalz, das in Deutschland seit 1991 angeboten wird, enthält 250 mg Fluorid/kg Salz. Es muss entsprechend gekennzeichnet werden [204]. Die Menge des aufgenommenen Speisesalzes ist laut HETZER aus Geschmacksgründen gut vorhersehbar [96]. Fluoridiertes Speisesalz ist nur für Packungen mit maximal 500 g Inhalt zugelassen, das heißt für den häuslichen Gebrauch. Mit einem Gramm aufgenommenem fluoridierten Speisesalz erhöht sich die Fluoridzufuhr mit der Nahrung um 0,25 mg. Der tägliche Salzverzehr beträgt in Deutschland bei Männern etwa 12 g und bei Frauen etwa 10 g. Der häusliche Verbrauch von fluoridiertem Speisesalz liegt im Mittel bei 2 g/Tag, was einer Fluoridzufuhr von 0,5 mg/Tag entspricht [52].

Unter fluoridarmen Lebensbedingungen (ohne fluoridierte Zahnpasta, ohne fluoridiertes Speisesalz, ohne fluoridiertes Trinkwasser, ohne fluoridhaltige Mundspüllösungen, Gele oder Lacke) beträgt die Fluoridkonzentration im Speichel etwa 0,02 mg/l [38]. Bei dem Verzehr von mit fluoridiertem Speisesalz zubereiteter Nahrung kommt es im Speichel zu einem Anstieg der Fluoridkonzentration [20,86,107]. Dieser hält so lange an, wie der pH-Wert in der Plaque nach der Aufnahme kariogener Nahrung erniedrigt ist. Somit stehen in dieser Zeit Fluoridionen zur Förderung der Remineralisation zur Verfügung.

In einer Studie von BJÖRNSTRÖM et al. [20] verzehrten erwachsene Probanden innerhalb von 30 Minuten 500 ml Popkorn mit fluoridiertem Speisesalz. In einer Kontrollgruppe wurde fluoridfreies Salz verwendet. Die Fluoridkonzentration des Speichels vor dem Verzehr des Popkorns betrug bei allen Probanden im

Mittel 0,02 mg/l. In der Testgruppe kam es 30 Minuten nach dem Verzehr des Popkorns mit fluoridiertem Speisesalz zu einem Anstieg der Fluoridkonzentration im Speichel auf 0,32 mg/l. Danach sank die Konzentration binnen 60 Minuten auf 0,08 mg/l. Nach 120 Minuten betrug sie noch 0,06 mg/l. In der Kontrollgruppe war die Fluoridkonzentration zu keinem der drei oben genannten Zeitpunkte erhöht.

Der Schweizer Gynäkologe WESPI [242] empfahl bereits 1950, Speisesalz als Träger für das kariespräventive Fluorid zu verwenden. Nach und nach führten alle Schweizer Kantone fluoridiertes Speisesalz ein [139]. Es hat seit vielen Jahren eine Marktanteil von 80-85 % [137]. Mehrere Studien aus der Schweiz kamen zu dem Ergebnis, dass durch die Verwendung von fluoridiertem Speisesalz die Kariesprävalenz bei Kindern und Jugendlichen durchschnittlich um 50 bis 60 % gesenkt werden konnte [39,140,151].

In Kolumbien wurden zwischen 1965 und 1972 in drei Gemeinden kollektive Fluoridierungsmaßnahmen durchgeführt. In einer Gemeinde wurden dem Speisesalz 200 mg F^-/kg als NaF und in einer zweiten Gemeinde als CaF_2 zugeführt. Fluoridfreies Salz stand nicht zur Verfügung. Die dritte Gemeinde erhielt fluoridiertes Trinkwasser mit 1,1 mg F^-/l. Nach sieben Jahren lag die Kariesreduktion bei den 6- bis 14-Jährigen aller drei Testgemeinden bei etwa 50 %. In einer vierten Gemeinde, die als Kontrollgruppe diente - ohne Fluoridsupplementierung und mit niedrigem Fluoridgehalt im Trinkwasser -, blieb der Kariesbefall nahezu unverändert [82,135,142,149].

Im Rahmen einer Studie wurden in Ungarn ab 1966 in vier Gemeinden dem Speisesalz 200 mg F^-/kg, 250 mg F^-/kg oder 350 mg F^-/kg als NaF zugesetzt [231]. Dieses Salz wurde in Haushalten und Restaurants, jedoch nicht in Bäckereien benutzt. Das örtliche Trinkwasser hatte einen Fluoridgehalt von ≤ 0,2 mg F^-/l. Drei andere Gemeinden mit niedrigem Fluoridgehalt im Trinkwasser dienten als Kontrollgruppe. In ihnen stand kein fluoridiertes Speisesalz zur Verfügung. 10 Jahren später zeigte sich bei den 7- bis 14-Jährigen der Testgemeinden eine durchschnittliche Kariesreduktion von 50 % [231]. Die Ergebnisse nach dem Gebrauch von Salz mit 200 mg F^-/kg beziehungsweise 250 mg F^-/kg zeigten keine signifikanten Unterschiede bezüglich ihrer präventiven Wirkung. Die Verwendung von Salz mit 350 mg F^-/kg zeigte bei den 7- bis 14-Jährigen, jedoch nicht bei den 2- bis 6-Jährigen, einen überlegenen Effekt gegenüber der Verwendung von Salz mit 200 mg F^-/kg oder 250 mg F^-/kg. In den Kontrollgemeinden kam es zu keiner wesentlichen Kariesreduktion [82,231].

1985 wurde in Frankreich fluoridiertes Speisesalz mit 250 mg F^-/kg eingeführt. Sein Marktanteil erreichte 1993 etwa 60 % [205]. Studien von 1987 und 1991 kamen zu dem Ergebnis, dass bei 12-Jährigen ohne zusätzliche kollektive Prophylaxemaßnahmen der Kariesrückgang 38 % betrug [29,30]. Weitere Studien zeigten bei 12-Jährigen zwischen 1987 und 1998 eine Kariesreduktion von 54,8 %, wobei der Rückgang der Karies am stärksten zwischen 1987 und 1993 war [23].

In Jamaika steht seit 1987 sowohl den Haushalten als auch der Industrie aus-

schließlich fluoridiertes Speisesalz mit 250 mg F^-/kg zur Verfügung. Bereits seit 1972 sind in Jamaika fluoridhaltige Zahnpasten verfügbar [82,205]. Der Vergleich der DMFT-Werte von 1984 und 1995 zeigt einen Kariesrückgang von 87 % bei den 6-Jährigen und 69 % bei den 15-Jährigen. Da es keine Daten zur Entwicklung des Verbrauchs fluoridierter Zahnpasten gibt, war der Anteil der Speisesalzfluoridierung am Kariesrückgang nicht genau zu bestimmen. Jedoch war die Einführung von fluoridiertem Speisesalz die wesentliche Veränderung der kariesprophylaktischen Maßnahmen im Untersuchungszeitraum [62].

Nach der Einführung von fluoridiertem Speisesalz mit 250 mg F^-/kg in Deutschland im Jahre 1991 betrug dessen Marktanteil 2007 nach Auskunft der Informationsstelle für Kariesprophylaxe des Deutschen Arbeitskreises für Zahnheilkunde 69,2 % [205]. Repräsentative Querschnittsstudien von PIEPER und SCHULTE [178] zum Kariesbefall der 12-Jährigen aus 11 von 16 Bundesländern zwischen 1994-95 und 2000 zeigten einen signifikanten Rückgang des mittleren DMFT-Wertes von 2,44 auf 1,81. Die Kariesreduktion betrug in den einzelnen Bundesländern zwischen 35,6 % und 57,1 %. Fissurenversiegelungen haben nach Auffassung der Autoren den Hauptanteil an dieser Entwicklung. Weitere Ursachen für den Kariesrückgang werden in der Förderung der Gruppenprophylaxe, der Fluoridtablettengabe und der Verwendung von fluoridiertem Speisesalz gesehen.

Zusammenfassend kann man sagen, dass in Ländern mit einer hohen Verbreitung kariespräventiver Maßnahmen der zusätzliche Nutzen der Speisesalz-

fluoridierung schwer auszuweisen ist [63,152,178]. Es handelt sich jedoch um eine breitenwirksame und kostengünstige Art der Kariesprophylaxe. Die Verwendung von fluoridiertem Speisesalz ist besonders für Personen geeignet, bei denen aufgrund fehlender Compliance und/oder sozialer Gegebenheiten der Erfolg anderer zahnmedizinischer Präventionsmaßnahmen limitiert ist [91,205]. Berücksichtigt werden sollte aber laut HELLWIG und HETZER, dass immer nur eine Form von systemischer Fluoridsupplementierung erfolgt (Fluoridtabletten, Fluoridsalz, fluoridhaltiges Mineralwasser) [91].

3.2.4 Fluoridhaltige Zahnpasten

In den letzten Jahrzehnten kam es in zahlreichen Ländern mit unterschiedlichen kariesprophylaktischen Ansätzen zu einer bedeutenden Kariesreduktion [80, 178,200]. Eine kariespräventive Maßnahme ist in allen diesen Ländern gleich: der Gebrauch fluoridhaltiger Zahnpasta [82]. Viele Studien bestätigen diesen Zusammenhang [116,193,213] und die kariespräventive Wirksamkeit fluoridhaltiger Zahnpasten [116,193,247,248].

MELLBERG [150] kommt in einer Übersichtsarbeit zu dem Ergebnis, dass fluoridhaltige Zahnpasten eine sinnvolle kariesprophylaktische Maßnahme sind, mit der sich in klinischen Studien eine Kariesreduktion von 20 % bis 30 % gegenüber dem Gebrauch fluoridfreier Zahnpasta erreichen lässt [82].

RØLLA et al. [193] kommen in einer Übersichtsarbeit von 1991 zu dem Ergebnis, dass der in den meisten Ländern der westlichen Welt zu beobachtende Kariesrückgang zeitlich mit der Einführung fluoridhaltiger Zahnpasten zusammenfällt. Die in Japan trotz ausgezeichneter Prophylaxeprogramme nicht gesunkene Kariesprävalenz kann nach ihrer Meinung damit zusammenhängen, dass in Japan fluoridhaltige Zahnpasten kaum zur Anwendung kommen.

Bei täglicher Anwendung von fluoridhaltiger Zahnpasta enthält die dentale Plaque signifikant mehr Fluorid also ohne den Gebrauch fluoridhaltiger Zahnpasta. In der nicht von der Zahnbürste entfernten Plaque reichert sich Fluorid in Konzentrationen von über 2 ppm [219]. Dadurch kommt es auch unter sauren Bedingungen zu einer Hemmung der Demineralisation des Schmelzes um mehr als 50 %. Darüber hinaus kommt es bei einem pH-Wert von 4,8, der bei der Zuckerverstoffwechselung in der Plaque häufig auftritt, zusätzlich zu einer signifikanten Remineralisationsförderung durch Fluorid [133].

Die Fluoridverbindungen, die am häufigsten in Zahnpasten eingesetzt werden, sind

- Natrium-Monofluorphosphat,
- Natriumfluorid,
- Zinnfluorid und
- Aminfluorid,

denen in dieser Reihenfolge eine zunehmende kariespräventive Wirkung zugeschrieben wird [216].

So kam 1993 eine Arbeitsgruppe um STOOKEY [220] zu dem Ergebnis, dass es durch die Verwendung einer natriumfluoridhaltigen Zahnpasta zu einer um 5 bis 10 % höheren Kariesreduktion kommt als bei der Verwendung einer monofluorphosphathaltigen Zahnpasta. Zu ähnlichen Ergebnissen kam auch STEPHEN [214].

MELLBERG [150] kam in seiner Übersichtsarbeit aus dem Jahr 1991 allerdings zu dem Schluss, dass es nur einen geringen oder eventuell sogar gar keinen Unterschied in der kariesreduzierenden Effektivität zwischen Zahnpasten mit unterschiedlichen Fluoridverbindungen gibt.

Bezüglich der kariespräventiven Wirkung der unterschiedlichen Fluoridverbindungen gibt es also unterschiedliche Ansichten. Wichtig für den kariespräventiven Effekt ist wahrscheinlich die Verfügbarkeit freier Fluoridionen [220].

Die Fluoridkonzentration in frei verkäuflichen Zahnpasten darf laut Kosmetikverordnung maximal 0,15 % (= 1.500 ppm) für Erwachsene und 0,05 % (= 500 ppm) für Kinder betragen. Die Konzentration für Kinderzahnpasten (bis sechs Jahre) wurde auf 500 ppm festgelegt, um Dentalfluorosen vorzubeugen, die bis zum Abschluss der Amelogenese durch das Verschlucken zu hoher Fluorid-Mengen entstehen können.

Für fluoridreduzierte Zahnpasta mit 500 ppm konnten KOCH et al. [115] zeigen, dass die kariespräventive Wirksamkeit vergleichbar mit der von Zahnpasta mit 1.000 ppm Fluorid ist.

STAMM [213] kommt in seiner Übersichtsarbeit zu dem Ergebnis, dass bei

Kindern unter zwei Jahren fluoridhaltige Zahnpasten, die 1.000 ppm Fluorid oder mehr enthalten, kontraindiziert sind, da ihre Verwendung zu einem erhöhten Fluoroserisiko führt. Für Zahnpasten mit einer Konzentrationen unter 500 ppm scheint die kariespräventive Wirksamkeit gering [157].

Im Jahr 2003 wurde zum Thema „Kariesprävention mit fluoridhaltigen Zahnpasten“ eine Metaanalyse in der Cochrane-Library publiziert, in der Studien von 1966 bis 2000 berücksichtigt wurden [234]. Diese Metaanalyse kommt zu dem Schluss, dass die kariesreduzierende Wirksamkeit von fluoridhaltigen Zahnpasten bei 24 % liegt. Der kariespräventive Effekt stieg mit zunehmender Fluoridkonzentration in der Zahnpasta [2,150,157,214,238], der Häufigkeit des Zähneputzens [214,234] und höherer Kariesaktivität [234].

2008 verglichen LIMA et al. [130] in einer Untersuchung eine niedrig fluoridhaltige Kinderzahnpasta (500 ppm) mit einer üblichen Zahnpasta für Erwachsene (1.100 ppm). Sie fanden heraus, dass bei Kindern mit niedrigem Kariesrisiko beide Zahnpasten zu einer vergleichbaren kariesprophylaktischen Wirkung führten. Kinder mit hohem Kariesrisiko profitierten stärker von der Verwendung der Zahnpasta mit höherer Fluoridkonzentration. Sie führte zu einer signifikant höheren Reduktion der Läsionsprogression bzw. der Kariesinzidenz.

In einer Cochrane-Metaanalyse aus dem Jahr 2010 zeigte sich bei Schulkindern und Jugendlichen bis zum 16. Lebensjahr eine mittlere Kariesreduktion von 23 % bei regelmäßiger Anwendung fluoridierter Zahnpasta mit einem Fluoridgehalt von 1.000 bis 1.250 ppm und eine mittlere Kariesreduktion von 36 % bei

der regelmäßigen Anwendung von Zahnpasta mit einem Fluoridgehalt von 2.400 bis 2.800 ppm. Zahnpasten mit einem Fluoridgehalt von 440 bis 550 ppm führen demnach zu keiner Kariesreduktion [238].

3.2.5 Fluoridhaltige Mundspüllösungen

Fluoridhaltige Mundspüllösungen werden mit einer Fluorid-Konzentration zwischen 250 ppm und 2.000 ppm (0,025 bis 0,2 %) angeboten. Sie enthalten meist Natriumfluorid aber auch das Aminfluorid Olaflur, Na-Monofluorphosphat oder Mischungen aus diesen. Die niedrigen Konzentrationen sind zur täglichen Nutzung und die 0,1- bis 0,2%ige Fluorid-Lösungen zur wöchentlichen Applikation in der Individualprophylaxe vorgesehen [217].

ZIMMER [252] stellte in einer Übersichtsarbeit fest, dass bei der kontrollierten Anwendung anderer fluoridhaltiger Kariostatika der wöchentliche Einsatz von Mundspüllösungen mit 0,1 bis 0,2 % Fluorid nur eine geringe zusätzliche Kariesreduktion zur Folge hatte. Er nahm jedoch an, dass bei nicht überwachtem Zähneputzen mit fluoridhaltiger Zahnpasta eine zusätzliche Kariesreduktion durch Fluoridspüllösungen von ungefähr 10-20 % resultieren kann, wenn diese regelmäßig angewendet werden.

PETERSSON [173] kam in einer Übersichtsarbeit zu dem Schluss, dass der Einsatz fluoridhaltiger Mundspüllösungen bei mittlerer und hoher Kariesprä-

valenz angezeigt ist. Es wird jedoch darauf hingewiesen, dass Spüllösungen nur unter kontrollierten Bedingungen (kontinuierliche und regelmäßige Anwendung) eine adäquate kariesprophylaktische Wirksamkeit besitzen. Darauf weist auch ein Cochrane-Review hin, das 2003 publiziert wurde [135]. Darin wurden Untersuchungen von 1966 bis 2000 analysiert. Die Autoren kamen zu dem Schluss, dass die kariesreduzierende Wirksamkeit von fluoridhaltigen Spüllösungen 26 % beträgt.

TWETMAN et al. [235] untersuchten 2004 in ihrem Review die kariespräventive Wirkung von Natriumfluorid-Mundspüllösungen. Sie kamen auf einen kariesreduzierenden Effekt von 29 % bei Kindern und Heranwachsenden, die neben der Mundspüllösung keine weiteren fluoridhaltigen Kariostatika verwendeten. Auch bei älteren Erwachsenen mit Wurzelkaries kam es zu einer Kariesreduktion durch die Anwendung fluoridhaltiger Mundspüllösungen. Bei Kindern, die regelmäßig fluoridhaltige Zahnpasta verwendeten, waren die Ergebnisse jedoch widersprüchlich, wodurch sie zu dem Schluss kamen, dass ein zusätzlicher kariesreduzierender Effekt von Natriumfluorid-Spüllösungen bei Anwendung von fluoridhaltiger Zahnpasta fraglich ist.

Laut BENSON et al. [15] führt die tägliche Anwendung einer Natriumfluorid-Spüllösung zu einer Reduktion des Schweregrades von initialen „white-spot“-Läsionen bei Kindern und Jugendlichen mit festsitzenden kieferorthopädischen Geräten. Daher empfehlen sie während einer kieferorthopädischen Behandlung mit 0,05%iger Natriumfluorid-Spüllösung zu spülen.

Zusammenfassend kann man sagen, dass bei Kindern und Jugendlichen mit erhöhtem Kariesrisiko die tägliche überwachte Anwendung von Mundspüllösungen mit 0,05 % Natriumfluorid beziehungsweise die einmal wöchentliche überwachte Anwendung einer Mundspüllösung mit 0,2 % Natriumfluorid zu einer deutlichen Reduktion des Kariesanstiegs führt. Da dieser Effekt unabhängig von der Anwendung anderer fluoridhaltiger Präparate wie zum Beispiel Zahnpasten ist, wird heute bei Kindern und Jugendlichen mit erhöhtem Kariesrisiko die Anwendung einer fluoridhaltigen Mundspüllösung empfohlen [94].

3.2.6 Fluoridhaltige Gele

Fluoridgelees verfügen über einen Fluoridgehalt von 1 bis 1,25 %. Ihr pH-Wert liegt meist zwischen 3,3 und 5,5. In Deutschland werden vor allem Präparate mit Natrium- bzw. Aminfluorid (Octaflur, Dectaflur) verwendet [246].
Klinisch wird das Gel mit einem Medikamententräger appliziert, da durch die individuelle Anpassung eine optimale Benetzung der Zahnflächen mit minimalem Einsatz von Gel gewährleistet ist [217]. Die Gelapplikation wird in der Regel zweimal pro Jahr durchgeführt, wobei für Patienten mit erhöhtem Kariesrisiko eine bis zu viermalige Anwendung pro Jahr sinnvoll sein kann [246].
Zu Hause kann das Gel wie Zahnpasta mit einer Zahnbürste appliziert werden, wobei eine einmal wöchentliche Anwendung mit etwa 0,5 g Gel empfohlen wird

[246], was bei 1,25 % Fluorid im Gel etwa 6,25 mg Fluorid entspricht.

Bei Patientengruppen mit einem außergewöhnlich hohen Kariesrisiko, wie zum Beispiel nach Radiatiotherapie mit Xerostomie beziehungsweise mit festsitzenden kieferorthopädischen Apparaturen, wird sogar eine tägliche Anwendung von Fluoridgelees empfohlen [61,241].

Bei Kindern erfordert die Anwendung von hoch konzentrierten Fluorid-Präparaten zahnärztliche Aufsicht und wird unter sechs Jahren nicht empfohlen, da wegen des noch schlecht kontrollierten Schluckreflexes eine unkontrollierte Aufnahme nicht ausgeschlossen werden kann [217].

Zahlreiche Untersuchungen belegen die kariesprophylaktische Wirksamkeit von Fluoridgel mit einer mittleren Kariesreduktion von 21,9 % [188,190,241].

STÄDTLER [211] untersuchte in einer dreijährigen klinisch-experimentellen Studie mit wöchentlichem überwachtem Einbürsten eines natriumfluoridhaltigen Gels mit 1,23 % Fluorid die Entstehung neuer Kariesläsionen. Bei Probanden mit schlechter Mundhygiene kam es durch die regelmäßige Gelapplikation gegenüber einer Kontrollgruppe zu weniger Läsionen. Bei Probanden mit guter Mundhygiene war kein Unterschied feststellbar.

Heute wird empfohlen, Fluoridgele unabhängig von bereits bestehenden Basisfluoridierungsmaßnahmen, wie zum Beispiel fluoridhaltige Zahnpasta, zu verwenden. Dabei kann die Art der Applikation individuell gewählt werden. Bei kariesaktiven Patienten sollte eine wöchentliche Applikation fluoridhaltiger Gele erfolgen [94].

3.2.7 Fluoridlacke

Beim Vergleich der kariesreduzierenden Wirkung von Fluoridlacken und Fluoridgelen konnten bei einer Anwendung alle sechs Monate keine Unterschiede festgestellt werden [208].

In Deutschland sind verschiedene Fluoridlacke auf dem Markt, die unterschiedliche Fluoridverbindungen (Natriumfluorid, Silanfluorid, Kalziumfluorid, Olaflur) und Fluoridkonzentrationen (0,1 % - 5,6 % Fluorid) aufweisen [246].

ATTIN et al. [9] fanden heraus, dass niedrigdosierte Fluoridlacke aufgrund ihrer guter Verfügbarkeit des Fluorids und der guten Adhäsion des Lackes an der Zahnoberfläche zu einer ähnlichen Fluoridanreicherung und Retention auf dem Zahnschmelz führen wie hochkonzentrierte Lacke.

In einer Metaanalyse konnte bei der Anwendung von Duraphat® eine durchschnittliche Kariesreduktion von 38 % ermittelt werden [88]. Zu ähnlichen Ergebnissen kam auch ZIMMER [252]. Dabei sollten die Fluoridlacke in einem Intervall zwischen drei und sechs Monaten appliziert werden [159,173,236].

Bereits eine einmalige Anwendung eines hochkonzentrierten Fluoridlacks kann zur Remineralisation initialkariöser Läsionen führen [26], wobei eine dreimalige Lackapplikation pro Jahr in Hinblick auf die Stagnation initialkariöser Läsionen die größten Erfolge mit sich brachte [174].

Untersuchungen zum Fluoridlack Duraphat® zeigten, dass geringe Plaquemengen seine Wirksamkeit nicht beeinträchtigen [95]. Dennoch sollten die

Fluoridlacke möglichst unter relativer Trockenlegung und auf gereinigte Zähne aufgetragen werden. Der Lack sollte nach dem Auftragen möglichst über einen längeren Zeitraum auf den Zähnen verbleiben und es sollte 6 Stunden auf Zähneputzen verzichtet werden [246].

3.3 Fluoridtoxikologie

Während der Entwicklung der Zahnkronen (bis zum achten Lebensjahr) kann die chronische Aufnahme von Fluoridmengen über der empfohlenen Tagesmenge zu Dentalfluorosen führen [93]. Laut ANGMAR-MÅNSON und WHITFORD [3] ist die Entstehung von Fluorosen ab einer Fluoridkonzentration von 10 µmol F^-/l (0,19 ppm) im Serum möglich. Ist die Fluoridaufnahme kleiner als 0,05 bis 0,07 mg Fluorid/kg Körpergewicht besteht keine Gefährdung [66, 146,170,217].

Wenn über Jahre sehr hohe Dosen Fluorid aufgenommen werden, können Skelettfluorosen (Deformationen, Verkalkungen von Bändern und Gelenken, Wachstumshemmung) entstehen. Als Folge chronischer Fluoridintoxikation tritt Skelettfluorose in Gebieten mit einem Trinkwasserfluoridgehalt von über 8 mg/l auf. Ab 4 mg/l Trinkwasser lassen sich jedoch die ersten Anzeichen einer Skelettveränderung diagnostizieren, wenn Menschen jahrelang in einem solchen Gebiet leben [93].

Als sicher toxische Fluoriddosis (CTD = certainly toxic dose) werden 32 bis 64 mg Fluorid/kg Körpergewicht für Erwachsene angesehen [97].
Von größerer Bedeutung im alltäglichen Umgang mit Fluoridierungsmitteln ist jedoch die wahrscheinlich toxische Dosis (PTD = probably toxic dose) [246], welche definiert ist als die „geringste Dosis, die toxikologische Symptome oder den Tod auslösen kann und eine sofortige therapeutische Intervention nach sich zieht“ [245,246]. Aufgrund von einigen Fluoridintoxikationen mit tödlichem Ausgang bei Kleinkindern konnte man eine wahrscheinlich toxische Dosis von 5 mg Fluorid/kg Körpergewicht für Kinder ermitteln [93,246]. Würde ein 15 kg schweres Kind (ca. drei Jahre) eine Tube Erwachsenenzahnpasta (100 g) mit einer Fluoridkonzentration von 1.000 ppm zu sich nehmen, würde es 100 mg Fluorid aufnehmen und damit die wahrscheinlich toxische Dosis um 33 % überschreiten [93].

3.4 Fluoridfreisetzende Materialien

Wie oben beschrieben, ist neben der richtigen Mundhygiene und Ernährung eine kontinuierliche Anwesenheit von Fluoridionen wichtiger Bestandteil der Kariesprophylaxe. Seit den 80er Jahren gewinnen deshalb auch zahnärztliche Werkstoffe an Bedeutung, die über einen längeren Zeitraum geringe Fluoridmengen freisetzen. Hierzu gehören neben Füllungsmaterialien auch in der

Kieferorthopädie eingesetzte Werkstoffe, wie zum Beispiel:

- Glasionomerzemente [69,70],
- Kompomere [99,104],
- Komposite [71,168],
- PMMA-Kunststoffe [105,155].

3.4.1 Glasionomerzemente

Glasionomerzemente sind Verbindungen aus Polyalkensäuren und Aluminium-Silikatgläsern aus Siliziumdioxid (SiO_2), Korund (Al_2O_3) und Flussspat (CaF_2). Verantwortlich für die Fluoridfreisetzung ist ihre anorganische Komponente [57]. Glasionomerzemente zeichnen sich durch eine lang andauernde Freisetzung von Fluorid aus [69,70,72]. Nach anfänglich hoher Freisetzung fällt diese allerdings schnell auf deutlich niedrigere Werte ab, was der Grund dafür sein könnte, dass in einer Studie von RANDELL et al. [181] keine Hemmung der Sekundärkariesentstehung festgestellt werden konnte. Allerdings sind sie in der Lage, Fluorid aufzunehmen und dieses wieder an die Umgebung abzugeben [36,37]. Sie können also als Fluoridreservoir dienen.

3.4.2 Komposite

Komposite sind aus einer organischen Matrix aufgebaut, die mit anorganischen Füllkörpern (Quarz, Glas, Keramik, Siliziumdioxid) versetzt ist [93]. Silane (organische Siliziumverbindungen) dienen als Haftvermittler [93]. Füllkörper dienen dazu die Druck-, Zug- und Verschleißfestigkeit zu erhöhen, sowie die Polymerisationsschrumpfung, den Expansionskoeffizienten und die Wasseraufnahme zu verringern [93]. Fluorid ist zu sehr unterschiedlichen Anteilen in den Füllkörpern enthalten.

Komposite mit Fluoridzusatz sind in der Lage, über lange Zeit Fluoridionen freizusetzen, wobei die höchste Fluoridfreisetzungsrate am ersten Tag stattfindet und es in den folgenden Tagen zu einem erheblichen Abfall der Fluoridfreisetzungsrate kommt [28,166,223].

BISHARA et al. [19] untersuchten die Fluoridfreisetzung von FluorEver-OBA in vitro. Am ersten Tag entstand in 4 ml deionisiertem Wasser eine Fluoridkonzentration von 2,6 ppm Fluorid. Am zweiten Tag betrug die Konzentration an freigesetztem Fluorid 0,42 ppm und am 43. Tag 0,04 ppm.

ØGAARD et al. [168] analysierten die Fluoridfreisetzung und das kariostatische Potential des lichthärtenden Bracketklebers VP-862 in vivo. Es zeigte sich, dass auch nach 6 Monaten noch nennenswerte Fluoridmengen freigesetzt wurden. Im Vergleich zu einem nicht fluoridfreisetzenden orthodontischen Adhäsiv wurde die Läsionstiefe im Bracketumfeld um etwa 48 % reduziert.

ENDT [60] untersuchte die Fluoridfreisetzung fluoridhaltiger Komposit-Bracket-kleber und Fissurenversiegler sowie den Einfluss von deren regelmäßiger Bearbeitung mit unterschiedlichen Pulver-Wasser-Strahlgeräten auf die Fluoridfreisetzung. Gemessen wurde jeweils die freigesetzte und in den Probenröhrchen kumulierte Fluoridmenge nach 24 Stunden, nach 7 Tagen, nach 3 Wochen und im Weiteren jeweils nach 4 Wochen. Fissurit F, Phase II und Helioseal F zeigten einen sehr schnellen Abfall der Fluoridfreisetzungsrate mit der Zeit. Die gemessenen Fluoridkonzentrationen im Eluat bei Fissurit F lagen zwischen etwa 5 ppm nach 24 Stunden und 0,6 ppm in der 20. Woche. Bei Phase II fiel die Fluoridfreisetzung von anfangs zirka 3,1 ppm sehr rasch bis auf 0,9 ppm nach 7 Tagen. Danach nahm die Fluoridfreisetzung bis zur 8. Woche nur noch sehr gering bis auf etwa 0,6 ppm ab. Die Fluoridfreisetzung von Helioseal F betrug nach einem Tag 1,1 ppm und nach 140 Tagen etwa 0,8 ppm. Ab dem Zeitpunkt der Bestrahlung nahm die Fluoridfreisetzung bei den fluoridfreisetzenden Kunststoffen weniger stark ab als ohne Bestrahlung. ENDT geht davon aus, dass diese Erhöhung durch die Abrasion der untersuchten Materialien hervorgerufen wird. Durch diese werden fluoridarme oberflächennahe Materialschichten abgetragen, so dass die Fluoridfreisetzung durch Freilegung von fluoridhaltigen Materialschichten wieder ansteigt. Als weitere mögliche Ursache führt er die durch das Bestrahlen hervorgerufene Aufrauung und die damit einhergehende Vergrößerungen der Materialoberfläche an.

Ähnlich wie ENDT untersuchte auch SCHWABE [206] in einer In-vitro-Studie

den Einfluss von Pulver-Wasserstrahlgeräten auf die Fluoridfreisetzung von Bracketadhäsiven. In Abhängigkeit von der Bearbeitungsvariante wurde bei einigen Adhäsiven eine Erhöhung der Fluoridfreisetzung erreicht, es kam aber zu keiner generellen Steigerung. Die von anderen Autoren [28,34,182] pro Tag gemessenen und ihrer Ansicht nach Karies-inhibierend wirkende Fluoridfreisetzung von 0,5 bis 1 µg/cm^2 konnte SCHWABE nicht messen. Unter Berücksichtigung aller Studienparameter hätte die Konzentration der Fluoridfreisetzung dafür zwischen 2,24 und 4,31 ppm betragen müssen. Diese Konzentration wurde aber von keinem der untersuchten Materialien erreicht.

Es bestehen zwei Möglichkeiten, das Fluorid dem Kunststoff zuzufügen. Zum einen der Einbau des Fluorids in einer fein verteilten, so genannten dispergierten Phase, wobei die Fluoridfreisetzung durch die Löslichkeit des Fluorids erfolgt [71,98]. Zum anderen können die Fluoridionen chemisch eingebunden und dann durch einen Ionenaustauschmechanismus freigesetzt werden [183,225]. Zahlreiche Studien, die fluoridfreisetzende Komposite untersucht haben, zeigen, dass die Fluoridfreisetzung einerseits vom Basismaterial abhängig ist [34,60, 163] und andererseits davon, in welcher Form Fluorid zugesetzt ist [44].

3.4.3 Kompomere

Bei den Kompomeren handelt es sich um Werkstoffe, die aus einem Komposit-

und einem Glasionomerzementanteil bestehen [93]. Die Matrix der Kompomere besteht aus polymerisierbaren „Kunststoffen“ und Karbonsäuren mit – im Unterschied zu konventionellen Glasionomerzementen – vernetzten Doppelbindungen. Ihr Füllstoffanteil beträgt bis zu 80 % [93]. Bei den Füllkörpern handelt es sich unter anderem um Barium-Aluminium-Fluorosilikat-Gläser [134].

Die Fluoridfreisetzung aus Kompomeren ist durch zahlreiche Studien belegt [12, 172,249]. Sie unterliegt ähnlich wie die aus den Glasionomerzementen verschiedenen Faktoren [127]. So ist die Abgabe von Fluorid im sauren Milieu signifikant höher, als in einer neutralen Lösung [10]. Auch Kompomere sind in der Lage, Fluorid aufzunehmen und so als Fluoridreservoir zu wirken [172,179].

SERRA et al. [209] untersuchten die kariesprotektive Wirkung von Glasionomerzementen und Kompomeren. Sie kamen zu dem Ergebnis, dass der von ihnen untersuchte konventionelle Glasionomerzement eine höhere kariesprotektive Wirkung hat als kunststoffmodifizierte Glasionomerzemente und polyacrylsäuremodifizierte Komposite.

HOTZ et al. [99] kamen jedoch zu dem Ergebnis, dass kunststoffmodifizierter Glasionomerzement mehr Fluoridionen pro Zeiteinheit freisetzt als konventioneller Glasionomerzement.

JOST-BRINKMANN [104] untersuchte unter anderem die Beeinflussung der Fluoridfreisetzung von verschiedenen (kunststoffmodifizierten) Glasionomerzementen und Kompomeren durch Pulver-Wasser-Strahlgeräte. Es wurden Proben von 7 mm Durchmesser und 1,5 mm Dicke hergestellt, die bei 37 °C in 5 ml

deionisiertem Wasser gelagert wurden. Nach 24 h, 7 und 28 Tagen sowie nach 8, 12 und 16 Wochen wurden die Proben in frisches deionisiertes Wasser transferiert und die bis dahin akkumulierte Fluoridmenge mittels fluoridionenselektiver Elektrode bestimmt. Die letzte Fluoridmessung erfolgte nach 20 Wochen. Ab der 4. Woche wurden die Prüfkörper (mit Ausnahme der unbestrahlten Kontrollen) vor jedem Badwechsel für jeweils 2 Sekunden halbseitig von oben und unten bestrahlt. Mit Ausnahme von Ketac-Cem® kam es bei allen Zementen durch Bestrahlen – unabhängig von der Geräteeinstellung – zu einer signifikanten Steigerung der pro Zeiteinheit freigesetzten Fluoridmenge. Die Fluoridfreisetzung pro Zeitintervall nahm bei allen Zementen über den Untersuchungszeitraum von 20 Wochen ab. Bei 6 der 9 Zemente variierte die Fluoridfreisetzung in Abhängigkeit vom verwendeten Pulver-Wasser-Strahlgerät. Die Pulver/Luft- beziehungsweise Wassereinstellung hatte nur bei wenigen Zementen einen signifikanten Effekt auf die Fluoridfreisetzung.

3.4.4 PMMA-Kunststoffe

1981 entstand die Idee, den zur Herstellung von kieferorthopädischen Apparaturen benutzten Kunststoffen auch eine Fluoridfreisetzungsfunktion zu geben [155].

MIETHKE und NEWESELY [155] entwickelten und prüften ein Kunststoff-

Kalziumfluorid-System zur Kariesprophylaxe während kieferorthopädischer Behandlungen. Sie experimentierten anfangs mit den anorganischen Fluoriden NaF und CaF_2 in Konzentrationen bis zu 10 % bezogen auf das Pulvergewicht. Da sich zeigte, dass aufgrund seiner höheren Löslichkeit das Fluorid aus NaF wesentlich rascher freigesetzt wird als aus CaF_2, wurden die Hauptversuche mit CaF_2 durchgeführt.

Das CaF_2 wurde in feinteiliger, gefällter Form in Homogenisiertrommeln mit dem Perlpolymerisat innig vermischt. Durch Beimischung unterschiedlicher Mengen wurden verschiedene Konzentrationen hergestellt. Das so gewonnene Vorpolymerisat („Pulver“) wurde regulär nach der Streumethode mit Monomerflüssigkeit verarbeitet. Die Prüfkörper hatten entweder die vereinfachte typische Form kieferorthopädischer Geräte (Auslaugversuche in vitro) oder die Form von Platten 10 x 15 x 3 mm (Biegefestigkeitsprüfung), oder sie wurden als Einzelkieferapparaturen beziehungsweise bimaxilläre Geräte (Fluoridfreisetzung in vivo) gefertigt und Patienten eingegliedert. Diese Patienten gaben bei jedem Kontrolltermin eine Speichelprobe ab. Die Tragedauer erstreckte sich über einen Zeitraum von bis zu zehn Monaten. Zur Feststellung der Fluoridabgabe wurden die Prüfkörper in jeweils 500 ml Aqua bidest. gelegt; bei der In-vivo-Messung geschah dies im Anschluss an die Herausnahme des jeweiligen Gerätes. Aus dem wässrigen Eluat wurden Proben nach jeweils ein und drei Tagen (In-vivo-Versuche) beziehungsweise nach sechs Wochen (In-vitro- und In-vivo-Versuche) entnommen. Die Fluoridfreisetzung wurde mit einer ionensensitiven Elektrode (Einstabmess-

kette) bestimmt. Das Messvolumen betrug 2 ml. Die Biegefestigkeit wurde mit dem Dynstat-Prüfgerät aus dem Biegemoment beim Bruch des Prüfkörpers ermittelt [155|.

Die Versuche zeigten, dass die Biegefestigkeit mit im Mittel 80 N mm^{-2} im Normbereich lag. Das Lösungsverhalten des dem Kunststoff beigefügten Kalziumfluorids entsprach langfristig mit einer Konzentration von 10 ppm der Gleichgewichtslöslichkeit seiner mineralisierten Form (Fluorit) in Wasser. Weiterhin zeigte sich, dass die Gleichgewichtseinstellung der Kalziumfluoridabgabe aus dem Kunststoffverband diffusionsgeregelt und daher abhängig von der Konzentrationsdichte in der Kunststoffmatrix ist: Mit 5 % eingebundenem CaF_2 stellte sich nach sechs Wochen das Gleichgewicht bei 7 bis 8 ppm ein. Die Restfluoridabgabe aus getragenen kieferorthopädischen Apparaturen mit 10 % CaF_2 ergab eine gering niedrigere Gleichgewichtskonzentration von etwa 5 ppm. Diese Auslaugung des Fluorids aus dem Kunststoff erfolgt primär aus dessen Oberflächenschichten. Chemisch-analytische und elektronenmikroskopische Resultate weisen jedoch darauf hin, dass als Folge einer gewissen Gefügeauflockerung des Materials das Fluorid auch aus tieferen Kunststoffschichten herausdiffundieren kann, wodurch eine mögliche oberflächliche Verarmung an Fluoridionen ausgeglichen wird [155].

JOST-BRINKMANN et al. [106] untersuchten, ob und wie die mechanischen Eigenschaften kieferorthopädischer PMMA-Kunststoffe unter anderem durch die Beigabe von 10 % Kalziumfluorid verändert werden.

Untersucht wurden die kaltpolymerisierenden Polymethylmethacrylate Orthocryl® und Forestacryl® in den Farben Klar, Rosa und Blau. Mit Glitter (Aluminiumspäne, Dosierung 2,5 Gewichts-%) versehene Proben wurden jeweils aus klarem Kunststoff hergestellt. Zusätzlich wurde eine Prüfkörperreihe aus Orthocryl® Plus (zirka 10 % CaF_2-Zusatz) erstellt. Die Probenrohlinge (69 mm Länge, 10 mm Breite, 4,5 mm Höhe) wurden im Streuverfahren in Gipshohlkörpern angefertigt. Nach der Entformung wurden die Prüfkörper für 50 ± 2 Stunden gelagert. Das geschah für die Hälfte der Proben an der Luft (n = 20; 23 °C ± 1 °C, 50 % relative Luftfeuchtigkeit ± 5 %) und für die andere Hälfte in deionisiertem Wasser (n = 20; 37 °C ± 1 C°). Anschließend wurden aus den Rohlingen die Prüfkörper (58 bis 61 mm Länge, 10 mm Breite ± 0,1 mm, 4,5 mm Höhe ± 0,1 mm) unter Wasserkühlung auf einer Tellerschleifmaschine mit Siliziumkarbidpapier (Körnung 400) geschliffen. Die Biege- und Bruchversuche erfolgten mit einer Dreipunkt-Biegevorrichtung. Es wurde die Durchbiegung der Proben bei 15 N und bei 50 N Last bestimmt sowie die Kraft im Moment des Bruchs. Die lineare Kontraktion wurde anhand des Abstandes der vom Gips in den Kunststoff übertragenen Impressionen mittels eines Messmikroskops direkt nach der Entformung und nach 50 ± 2 Stunden ermittelt.

Die Autoren [106] kamen zu dem Ergebnis, dass die Beimischung von 10 % Kalziumfluorid zum Kunststoff keinen signifikanten Einfluss auf das Biege-, Bruch- und Kontraktionsverhalten der untersuchten Proben hatte. Die Durchbiegung der Prüfkörper aus Orthocryl® Plus bei Belastung mit 15 N betrug im

Mittel zirka 0,85 mm. Zu den anderen untersuchten Kunststoffen bestand hier kein signifikanter Unterschied. Bei Belastung mit 50 N zeigte Orthocryl® Plus eine Durchbiegung von zirka 3,5 mm. Hier wiesen nur die mit Glitter versetzten Proben mit zirka 2,5 mm eine höhere Biegesteifigkeit auf. Bei der Belastung der Prüfkörper im Moment des Bruchs lag Orthocryl® Plus mit etwa 65 N im Mittelfeld. Die Bruchfestigkeit der anderen untersuchten Kunststoffe lag zwischen rund 55 N bei Forestacryl® rosa und 80 N bei Forestacryl® Glimmer. Auch bei der linearen Kontraktion der Prüfkörper während der Lagerung waren die Mittelwerte von Orthocryl® Plus mit -0,03 mm mit denen der anderen untersuchten Kunststoffe vergleichbar [106].

Die Autoren empfahlen, Orthocryl® Plus wegen seiner kariesprotektiven Wirkung bei gleichzeitig guten physikalischen Eigenschaften als idealen Kunststoff zur Herstellung herausnehmbarer kieferorthopädischer Apparaturen.

1999 wurde in einer In-vivo-Studie [105] die Fluoridkonzentration im oberflächlichen Schmelz von Milchzähnen bestimmt. Die Milchzähne stammten von kieferorthopädisch behandelten Kindern, von denen ein Teil ein herausnehmbares Gerät aus Orthocryl® (Standard-PMMA) getragen hatte und die anderen Kinder ein Gerät, das je zu einer Hälfte aus Orthocryl® Plus (PMMA-Kunststoff mit 10 % Kalziumfluorid) und zur anderen Hälfte aus Orthocryl® ohne Fluoridzusatz bestand. Untersucht werden sollte, ob die im Mundhöhlenmilieu freigesetzten Fluoridionen in den oberflächlichen Schmelz eingelagert werden.

Die Studie kam zu dem Ergebnis, dass der Fluoridgehalt der oralen Zahn-

flächen, die dem Kunststoff Orthocryl® Plus direkt anlagen, signifikant höher war, als der Fluoridgehalt sowohl der Milchzahnflächen, die nie Kontakt mit einem kieferorthopädischen Gerät gehabt hatten, als auch der Zahnflächen, die im Kontakt zu Geräten aus Orthocryl® gestanden hatten [105].

4 Fragestellung

In dieser Arbeit sollten die Fluoridfreisetzung, das Biege-, Bruch- und Kontraktionsverhalten sowie die Oberflächenstruktur von Orthocryl® Plus[1] während 36 Wochen Wasserlagerung untersucht werden.

Im Einzelnen ergeben sich daraus folgende Fragen:

- In welcher Menge und über welchen Zeitraum gibt Orthocryl® Plus[1] Fluorid an das Lagermedium ab?
- Kommt es durch die Freisetzung von CaF_2 aus dem Kunststoff zu einer Veränderung seiner mechanischen Eigenschaften?
- In welchem Umfang wird die Oberflächenmorphologie der Prüfkörper durch die Auslaugung des Fluorids aus dem Kunststoff verändert?
- Wie dimensionsstabil ist Orthocryl® Plus[1]?

5 Materialien und Methoden

An dieser Stelle wird zunächst ein Überblick gegeben. Eine detaillierte Beschreibung folgt auf den Seiten 57 ff.

Untersucht wurden 200 Prüfkörper aus Orthocryl® Plus[1], die in Anlehnung an DIN EN ISO 20795-2 [49] folgende Abmessungen aufwiesen: 64,0 mm Länge, 10,0 mm Breite und 3,3 mm Höhe.

Nachdem unter Zuhilfenahme eines Messschiebers[11] die Längenmessung aller Proben abgeschlossen war, wurden sie in jeweils 10 ml deionisiertem Wasser[13] gelagert, das einmal wöchentlich erneuert wurde.

Nach sieben Tagen wurden die ersten 20 Proben entnommen um die Fluoridkonzentration im Eluat mit einer ionensensitiven Elektrode[16] zu bestimmen.

Weiter wurden die lineare Kontraktion und mittels Tastschnittmessverfahren die maximale Rautiefe, die gemittelte Rautiefe sowie der Mittenrauwert bestimmt.

Zur Messung der Festigkeitswerte (Biegemodul, Biegefestigkeit, Durchbiegung bei 15 N und 50 N Belastung sowie Kraft im Moment des Bruchs) wurde mittels einer Universalprüfmaschine[27] der Dreipunkt-Biegeversuch gemäß DIN EN ISO 20795-2 [49] durchgeführt.

Die genannten Versuche wurden vier Wochen nach Beginn der Untersuchungen an weiteren 20 Probekörpern durchgeführt und anschließend monatlich, während für die noch nicht vermessenen Proben einmal pro Woche das Wasser

gewechselt wurde. Nach 36 Wochen waren alle 200 Proben untersucht und die Ergebnisse wurden ausgewertet. Abbildung 5-1 zeigt den Ablauf der Studie.

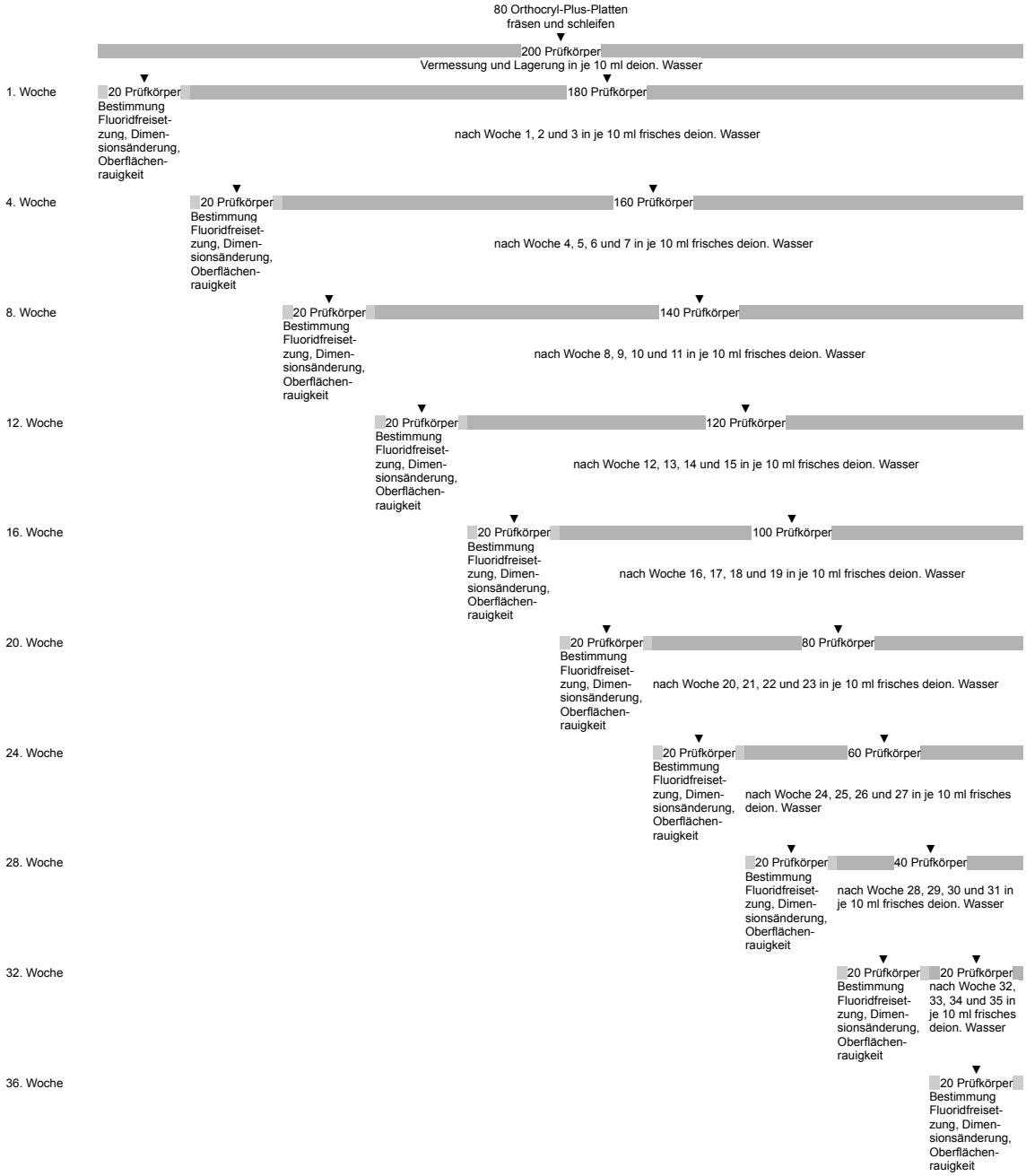

Abb. 5-1 Flussdiagramm des zeitlichen Ablaufs der Versuche

5.1 Untersuchtes Material

In der vorliegenden Arbeit wurde Orthocryl® Plus[1] der Firma Dentaurum, Pforzheim untersucht. Bei Orthocryl® Plus[1] handelt es sich um ein weiß-opakes Polymethylmethacrylat mit 10 % Kalziumfluorid-Beimischung zur Herstellung kieferorthopädischer Apparaturen.

5.2 Herstellung der Prüfkörper

Die zu untersuchenden Prüfkörper wurden gemäß DIN EN ISO 20795-2 [49] mit folgenden Abmessungen hergestellt: 64,0 mm Länge, 10,0 mm Breite und 3,3 mm Höhe.

Hierfür wurde zunächst ein Modell einer Probekörperplatte aus Polyoxymethylen (POM)[2] mit den in DIN EN ISO 20795-2 [49] beschriebenen Maßen angefertigt (Abb. 5-2).

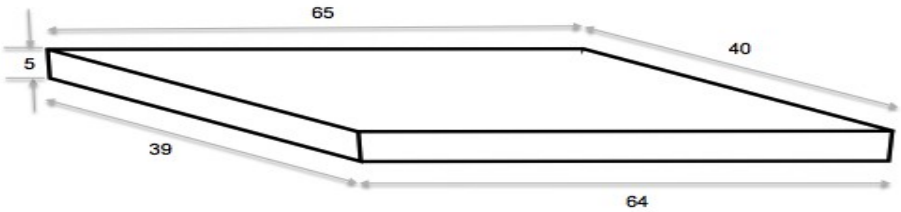

Abb. 5-2 Modell der Probekörperplatte; Bemaßung in Millimeter

Dieses Modell wurde in eine Form aus POM integriert. Um das Entformen des durch Ausgießen dieser Form entstehenden Gipsmodells ohne dessen Beschädigung zu ermöglichen, wurde die POM-Form so gefertigt, dass die Seitenteile mittels Schraubverbindungen an der Urform befestigt wurden (Abb. 5-3).

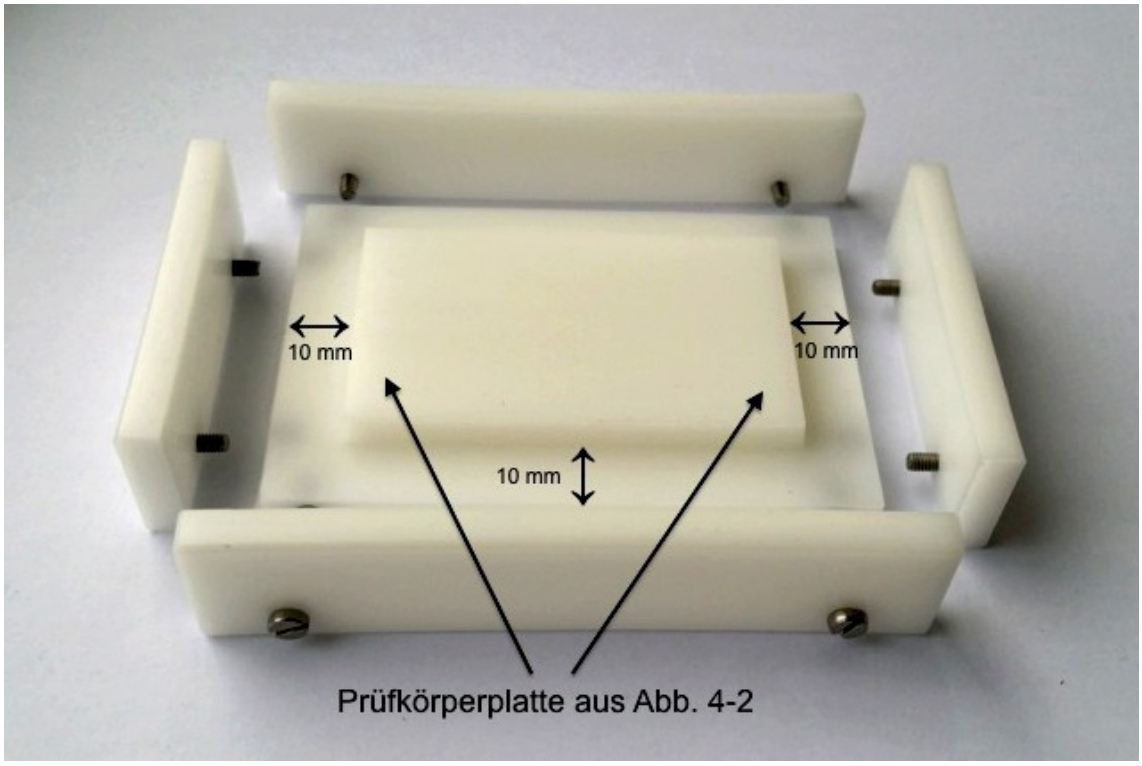

Abb. 5-3 Zerlegte Form aus POM mit integrierter Form der Probekörperplatte

Diese Gießform wurde mit Typ III Modellhartgips[3] ausgegossen, der hierfür in einem (Leitungs-) Wasser/Gips-Verhältnis von 30 ml : 100 g unter Vakuum angemischt wurde. Nach 60 Minuten wurde das Gipsmodell entformt (Abb. 5-4).

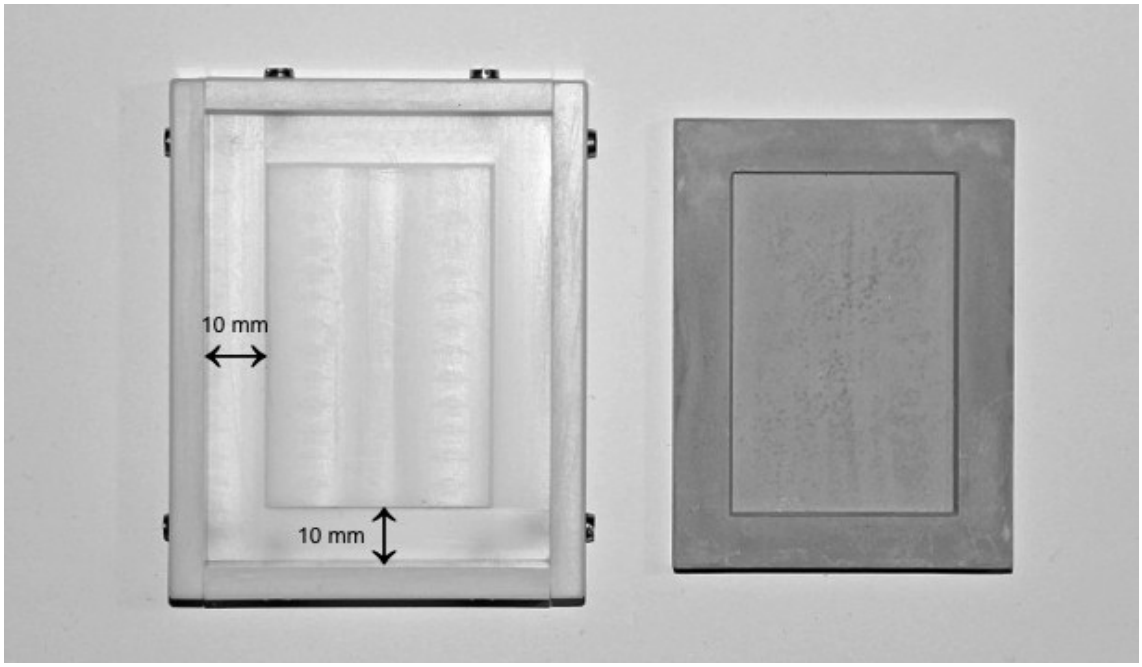

Abb. 5-4 Form aus Polyoxymethylen zusammengesetzt (links) mit darin hergestelltem Gipsmodell (rechts)

Anschließend wurde die Gipsform für 15 Minuten gewässert und danach vorsichtig trocken geblasen. Sodann wurde Isoliermittel[5] auf das noch leicht feuchte Modell geträufelt und mit einem Pinsel[4] gleichmäßig verteilt. Das Modell wurde auf die Seitenfläche gestellt, wodurch überschüssiges Isoliermittel ablaufen konnte und eventuell noch verbliebene Rückstände wurden nach 30 Sekunden vorsichtig mit Druckluft abgeblasen.

Der Kunststoff wurde mit Hilfe der Anteigtechnik verarbeitet. Hierfür wurde Orthocryl® Plus[1] bei einer Temperatur von 23 ± 2 °C im Verhältnis 2,5 Volumenteile Pulver : 1 Volumenteil Flüssigkeit in einem Silikonbecher[6] angerührt. Nach einer Anteigzeit von sechs Minuten wurde der Kunststoffteig durch Gießen

direkt in die Gipsform gefüllt.

Die Polymerisation erfolgte für 20 Minuten in einem Drucktopf[7] bei 220 Kilopascal und 40 °C. Die fertige Probekörperplatte wurde dann unter Zuhilfenahme einer Fräsmaschine[8] mit einem Einzahnfräser[9] aus Hartmetall unter Wasserkühlung der Länge nach in jeweils drei gleiche Streifen gefräst (Abb. 5-5).

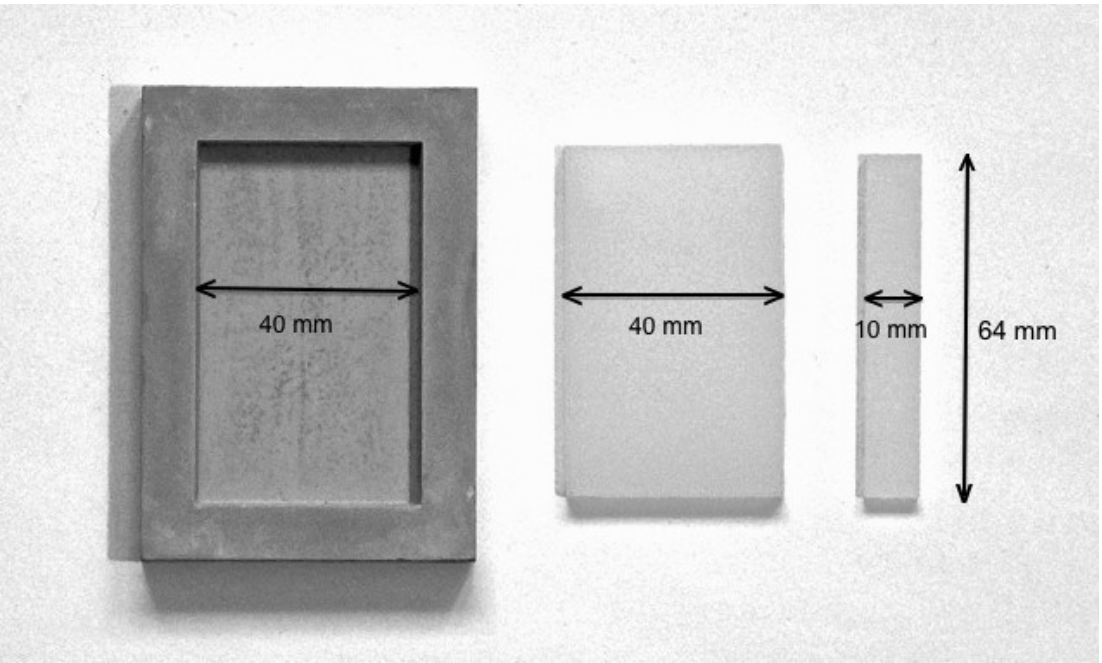

Abb. 5-5 Gipsform (a), Probekörperplatte (b), Prüfkörper (c)

Die Streifen wurden mit Ausnahme der dem Gips zugewandten Fläche an allen Seiten so bearbeitet, dass sie etwas überdimensioniert waren. Danach wurden sie im Nass-Schleifverfahren mit metallografischen Standard-Schleifpapieren[10] mit einer Körnung von 30 µm (P500), 18 µm (P1000) sowie 14 µm (P1200) auf die vorgegebene Breite von 10 ± 0,2 mm und Höhe von 3,3 ± 0,2 mm bearbei-

tet. Hierfür wurden die Schleifpapiere auf Sperrholzplatten aufgeklebt, mit Wasser benetzt und die Prüfrohlinge mit gleichmäßigen kreisenden Handbewegungen bearbeitet.

Die Höhe und Breite der Prüfkörper wurde in drei Messungen entlang der Längsachse mit einem Messschieber[11] mit einer Messgenauigkeit von ± 0,01 mm bestimmt (Abb. 5-6).

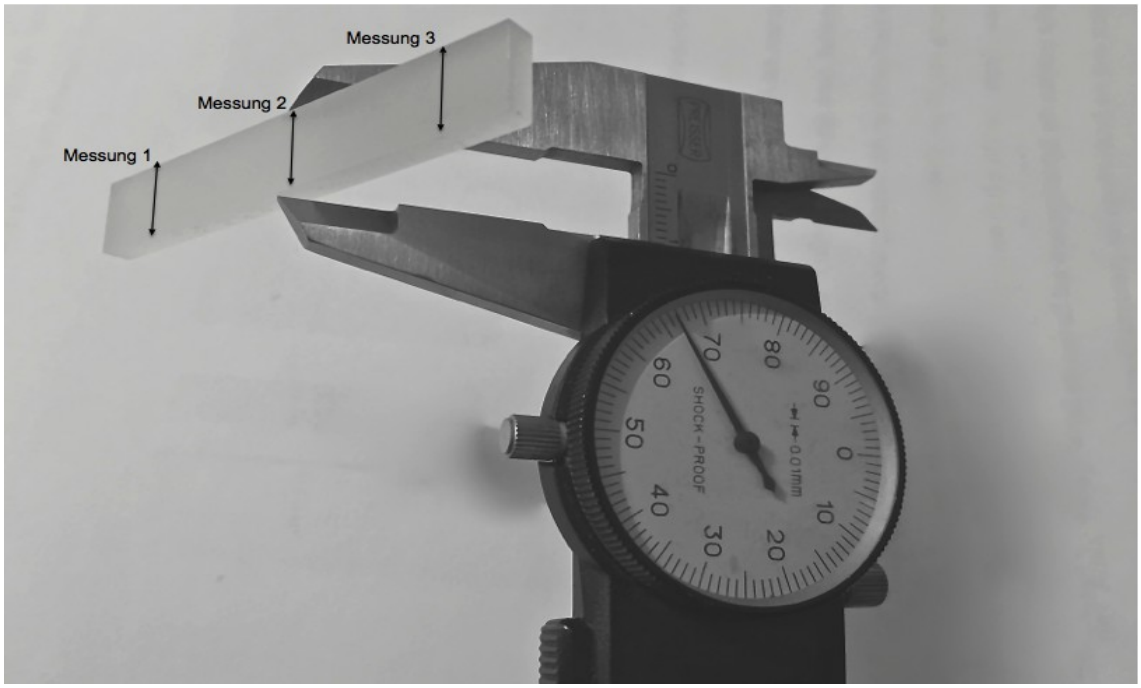

Abb. 5-6 Messschieber mit Prüfkörper, jeweils 3 Messungen pro Prüfkörper

Die Abweichung zwischen den drei Messungen entlang der Längsachse durfte dabei nicht mehr als ± 0,02 mm betragen. Der Prüfkörper musste flach sein und eine gleichmäßige Höhe von (3,3 ± 0,2) mm aufweisen. Auf diese Weise wurden insgesamt 200 Prüfkörper hergestellt. Die Zuordnung der Prüfkörper zu den

Prüfgruppen erfolgte zufällig.

5.3 Lagerung der Prüfkörper

200 Polypropylen-Röhrchen[12] wurden jeweils mit einer Prüfkörpernummer von 1 bis 200 und dem aktuellen Datum beschriftet. Jeder Prüfkörper wurde dann nach dem Zufallsprinzip in ein Polypropylen-Röhrchen[12] gegeben, wodurch ihm eine Nummer von 1 bis 200 zugeteilt wurde, die er bis zum Abschluss der Untersuchungen beibehielt. Die Polypropylen-Röhrchen[12] waren zuvor mit Hilfe einer Dispensette[15] mit 10 ml deionisiertem Wasser[13] befüllt worden. So war gewährleistet, dass der Prüfkörper vollständig von Wasser umgeben war. Die Polypropylen-Röhrchen[12] wurden mit einem Stopfen verschlossen und aufrecht in Reagenzglasständer[14] gestellt. Die Lagerung erfolgte bei einer Temperatur von 23 ± 2 °C. Jeweils nach sieben Tagen wurde jeder Prüfkörper entnommen und in ein neues Röhrchen mit frischen 10 ml deionisiertem Wasser gegeben, welches wiederum mit der dem Prüfkörper zugeteilten Nummer und dem aktuellen Datum beschriftet worden war. Dieser Vorgang wurde so lange wiederholt, bis der jeweilige Prüfkörper den vorgesehenen Versuchen unterzogen wurde (vgl. Abb. 5-1).

5.4 Bestimmung der Fluoridfreisetzung

Die Fluoridbestimmung wurde mit einer ionenselektiven Fluoridelektrode[16] durchgeführt. In der mit einem Epoxy-Schutzmantel versehenen Elektrode befindet sich eine Lanthan-Fluorid-Einkristallmembran mit einer inneren Referenzableitung. Bei diesem Kristall handelt es sich um einen Ionenleiter, in dem ausschließlich Fluoridionen beweglich sind. Kommt die Membran mit einer Fluoridlösung in Kontakt, bildet sich ein von der Konzentration der freien in Lösung befindlichen Fluoridionen abhängiges Elektrodenpotenzial [14]. Dieses Potenzial wurde mit Hilfe eines Digital-mV-Meter[17] gegen ein externes konstantes Referenzpotenzial gemessen. Es ist proportional zu der in der Lösung befindlichen Konzentration an freien Fluoridionen. Die Nernst'sche Gleichung beschreibt diese Konzentrationsabhängigkeit des Elektrodenpotentials:

$E = E_0 - S \log A.$

Dabei sind:

E = gemessenes Elektrodenpotenzial

E_0 = Referenzpotenzial (als Konstante)

A = Fluoridgehalt in der Lösung

S = Elekrodensteilheit [14].

Bei dem Fluoridgehalt A handelt es sich um die Aktivität beziehungsweise die effektive Konzentration der freien Fluoridionen in der Lösung. Die Elektrode spricht nur auf freie Ionen an. Die Gesamtfluoridkonzentration (c_t) kann aber

auch gebundene komplexierte (c_b) und freie Ionen enthalten (c_f). Das bedeutet:

$c_f = c_t - c_b$ [14].

Die Fluoridaktivität ist proportional zur freien Fluoridionen-Konzentration unter Berücksichtigung des Aktivitätskoeffizienten f:

$A = f\ c_f$ [14].

Die Aktivitätskoeffizienten hängen von der Gesamtionenstärke, die definiert ist als:

Ionenstärke $= ½\ \Sigma\ c_i z_i^2$.

Dabei ist:

c_i = Konzentration des Ions i

z_i = Ladung des Ions i [14].

Ist der Ionenstärke-Hintergrund bezogen auf die erfasste Ionenkonzentration hoch und konstant, dann ist der Aktivitätskoeffizient eine Konstante und die Aktivität direkt proportional zur Konzentration [14].

Zur Überprüfung der Elektrodenfunktion wurde vor jeder Messreihe (20 Prüfkörper) die Elektrodensteilheit überprüft. Hierfür wurden 25 ml destilliertes Wasser, 0,5 ml 100 ppm Fluorid-Standardlösung[19] und 25 ml TISAB II[18] in einen Becher gegeben. TISAB (Total Ionic Strength Adjustment Buffer) dient dem Dekomplexieren von Fluorid und der Einstellung des pH-Wertes der Lösung zwischen 5 und 5,5, um Störungen durch Hydroxidionen und die Bildung von Hydroxidkomplexen des Fluorids zu unterbinden. Das Elektrodenpotenzial in mV wurde notiert. Anschließend wurden 5 ml der 100 ppm Standardlösung[19]

dazugegeben und wiederum das Elektrodenpotenzial notiert. Wenn die Differenz der beiden Potentiale im Bereich von -56 ± 2 mV lag, war eine einwandfreie Elektrodenfunktion gewährleistet [14].

Durch Vorversuche war bekannt, dass der zu erwartende Konzentrationsbereich bei etwa 2 ppm lag. Zum Bestimmen der Fluoridfreisetzung der Proben wurden nun durch Serienverdünnung einer 10 ppm Fluorid-Standardlösung[20] Verdünnungen mit 5 ppm, 2,5 ppm, 2 ppm und 1 ppm Fluorid hergestellt. Die Referenzelektrode wurde mit einer Elektrolytlösung[21] aufgefüllt. Zum Aufnehmen einer Kalibrierungskurve wurde die Elektrode zunächst in die 10 ppm Standardlösung[20] getaucht, und nachdem sich das Potenzial stabilisiert hatte, der Messwert notiert. Die Elektrode wurde gründlich mit deionisiertem Wasser[13] gespült und anschließend mit fluoridfreiem Filterpapier[22] anhaftende Feuchtigkeit aufgenommen, um Verschleppungsfehler zu vermeiden. Auf die gleiche Weise wurden die Potenziale der anderen Standardlösungen bestimmt und die mV-Messwerte (lineare Achse) gegen die Konzentration (logarithmische Achse) auf 4-Dekaden-halb-logarithmischem Papier aufgetragen.

Nun wurden mit Hilfe einer Transferpette[23] von den 10 ml Probenlösung 2 ml entnommen. Der Prüfkörper verblieb in seinem Röhrchen und war durch die verbliebenen 8 ml noch immer vollständig von deionisiertem Wasser[13] umgeben. Die 2 ml Probenlösung und 2 ml TISAB II[18] wurden in ein neues Polypropylen Röhrchen[12] pipettiert[24]. TISAB II[18] wird zur Einstellung eines konstanten Ionenstärke-Hintergrundes, zum Dekomplexieren von Fluorid verwendet und um

den pH-Wert der Lösung einzustellen. Probe- und Standardlösungen mussten die gleiche Temperatur aufweisen, da schon eine Differenz von 1 °C einen Messfehler von 2 % verursacht. Das Potenzial der Probenlösung wurde gemessen und die Probenkonzentration konnte aus der zuvor aufgenommenen Kalibrierungskurve abgelesen werden.

Die Fluoridkonzentration im Eulat der Prüfkörper wurde erstmalig eine Woche nach Beginn der Wasserlagerung anhand von zwanzig Proben bestimmt. Nach vier Wochen und somit nach dreimaligem Wasserwechsel wurde anhand der nächsten zwanzig Proben bestimmt, wie viel Fluorid sie innerhalb einer Woche in das Lösungsmedium (deionisiertes Wasser) abgaben. Im weiteren Verlauf wurde jeweils nach weiteren vier Wochen anhand weiterer zwanzig Proben die durch Fluoridfreisetzung entstandene Fluoridkonzentration im Eluat bestimmt.

5.5 Bestimmung der Dimensionsänderung

Zur Ermittlung der linearen Dimensionsänderung wurden die Längen aller 200 Proben erstmals direkt vor dem Beginn der Wasserlagerung unter Zuhilfenahme eines Messschiebers[15] ermittelt. Hierfür wurde jeder Prüfkörper viermal vermessen (Abb. 5-7 a – d). Einmal mit der beim Polymerisieren dem Gips zugewandten Seite nach oben, dann um 180° gedreht, womit sich die zuvor linke Seitenfläche rechts befand und danach wurde die Probe umgedreht, so dass

sich die dem Gips abgewandte Seite oben befand. Nach der dritten Messung wurde wieder um 180° gedreht und ein viertes Mal die Länge bestimmt.

Aus den vier Längenmessungen wurde der Mittelwert berechnet.

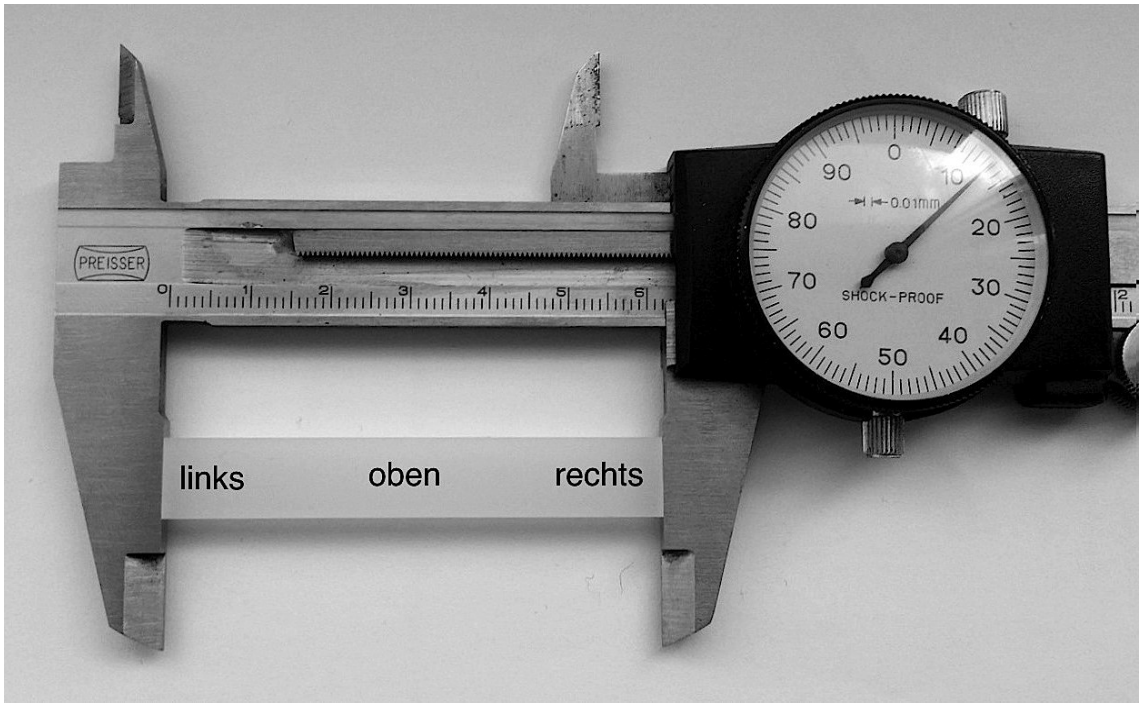

Abb. 5-7 a

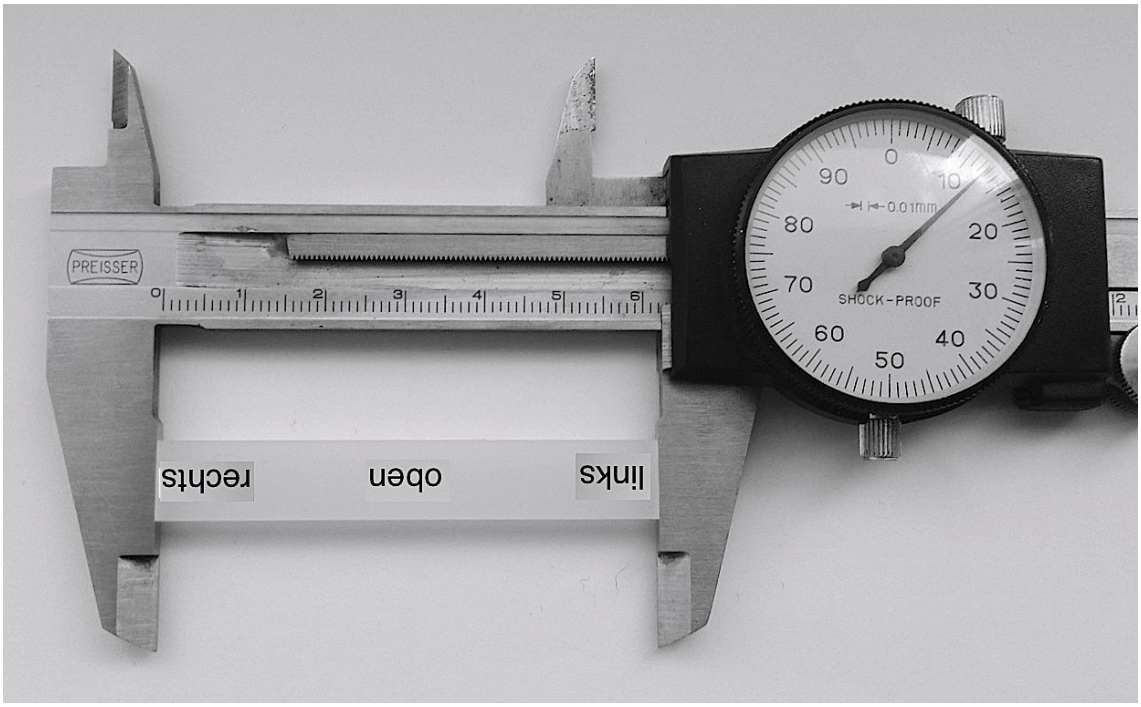

Abb. 5-7 b

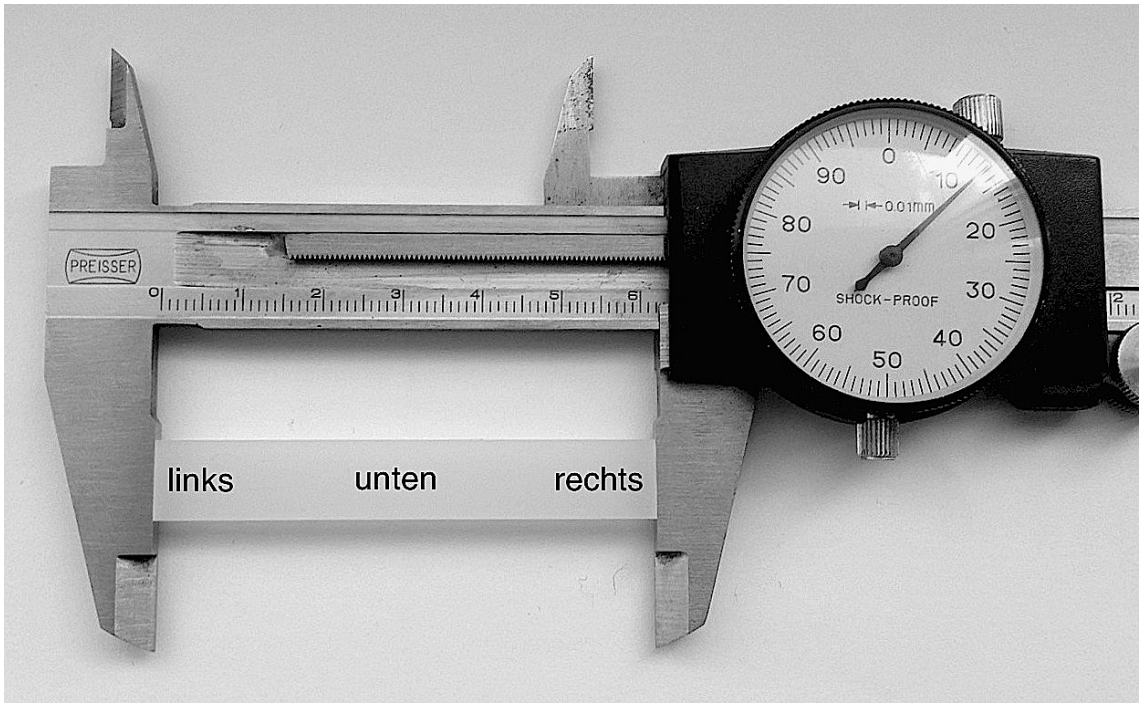

Abb. 5-7 c

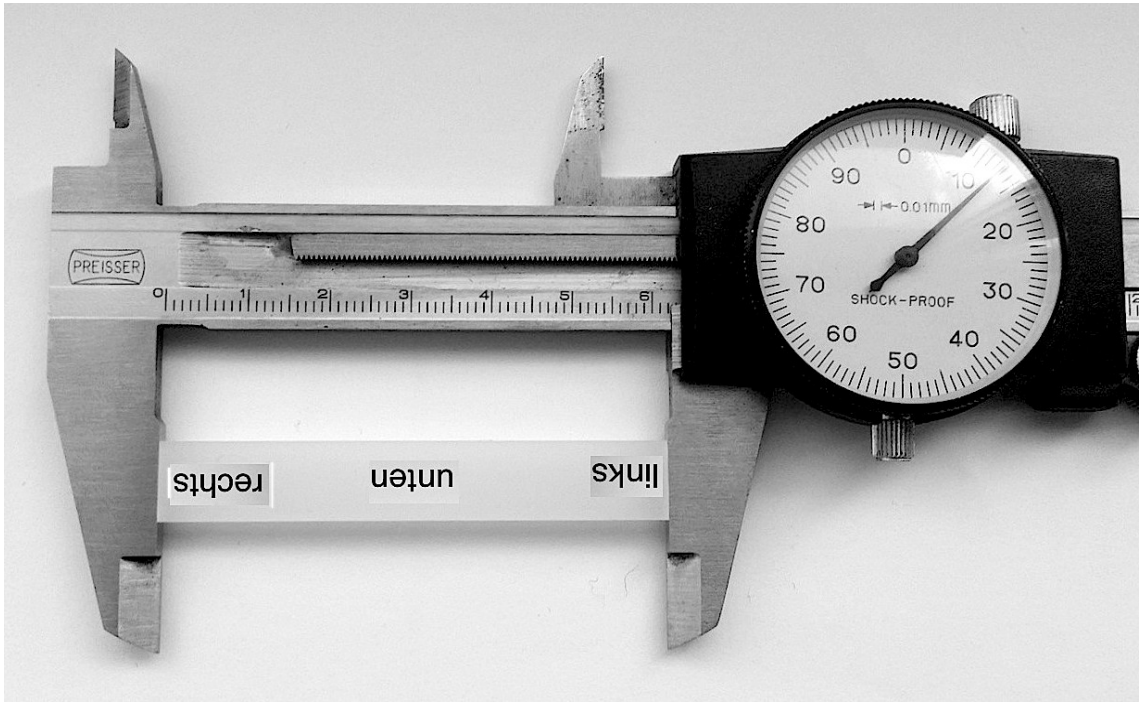

Abb. 5-7 d

Nach sieben Tagen Lagerung in deionisiertem Wasser[13] wurden die Prüfkörper 1 bis 20 entnommen und wie oben beschrieben, wurde die Länge jedes Prüfkörpers wieder viermal vermessen (Abb. 5-7 a - d). Neben der absoluten Veränderung der Probenlängen im Untersuchungszeitraum wurde diese in Prozent bestimmt. Die Länge der nächsten 20 Prüfkörper wurde nach vier Wochen Wasserlagerung gemessen und nach jeweils vier weiteren Wochen wurden weitere 20 Prüfkörper vermessen.

5.6 Bestimmung der Oberflächenrauheit

Zur Prüfung der Rauheitsmesswerte der Kunststoffoberfläche wurde das Tastschnittverfahren angewandt. Bei diesem werden dreidimensionale Oberflächen in zweidimensionalen Profilschnitten mit einer feinen Diamantspitze abgetastet. Diese Spitze hebt und senkt sich in Abhängigkeit von der Gestaltabweichung der Oberfläche und die hierbei entstehenden vertikalen Tastspitzenauslenkungen werden gemessen. Diese werden durch einen Messwertwandler in elektrische Signale umgewandelt. Die so erhaltenen elektrischen Werte werden verstärkt, gegebenenfalls gefiltert und mittels Rechenprogramm verarbeitet [18]. Jeder Prüfkörper wurde hierfür aus seinem Polypropylen-Röhrchen[12] entnommen und unter der Tastspitze so platziert, dass sich die bei der Polymerisation dem Gips zugewandte Seite oben befand. Jede Probe wurde viermal vermes-

sen, wobei jedes Mal der Ausgangspunkt des Tastvorganges durch verschieben beziehungsweise drehen Prüfkörpers verändert wurde (Abb. 5-8).

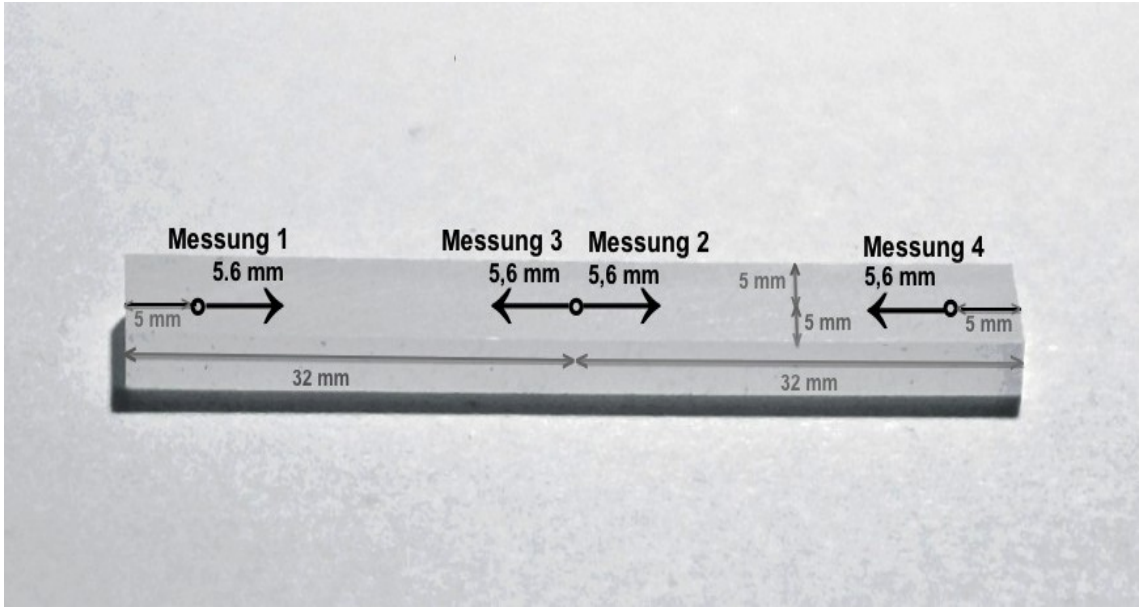

Abb. 5-8 Ausgangspunkte und Messstrecken der Messungen 1 - 4

Mittels Vorschubgerät[25] wurde die Probe mit dem Freitaster abgefahren. Die Länge der Messstrecke betrug jeweils 5,6 mm. Das Oberflächen-Mess- und Protokolliergerät Perthometer S6P[26] steuerte den Messablauf, führte die gesamte Messverarbeitung durch und brachte die Messergebnisse zur Anzeige [18]. Bestimmt wurden gemäß DIN EN ISO 4288 [47]

die <u>gemittelte Rautiefe R_Z</u>:

Mittelwert aus den Einzelrautiefen fünf aufeinanderfolgender Einzelmessstrecken l_e,

die maximale Rautiefe R_{max}:

die größte auf der Gesamtmessstrecke l_m vorkommende Einzelrautiefe,

die maximale Rautiefe R_t:

der senkrechte Abstand zwischen höchstem und tiefstem Punkt des Rauheitsprofils R innerhalb der Gesamtmessstrecke l_m,

der Mittenrauwert R_a:

der arithmetische Mittelwert aller Beträge des Rauheitsprofils R innerhalb der Gesamtmessstrecke l_m und

der Mittenrauwert R_q:

der geometrische Mittelwert aller Beträge des Rauheitsprofils R innerhalb der Gesamtmessstrecke l_m [18].

Zunächst wurden die Werte von zwanzig Proben nach einer Woche Wasserlagerung bestimmt, alle vier Messwerte einer Probe wurden gemittelt und aus den 20 Mittelwerten wurde wiederum ein Mittelwert berechnet. Bei weiteren zwanzig Proben wurden nach vier Wochen Wasserlagerung 80 Messungen durchgeführt und dann alle vier Wochen weiteren zwanzig Proben bis alle Prüfkörper vermessen waren.

5.7 Bestimmung der Biege- und Brucheigenschaften

Zur Messung der Festigkeitswerte wurde ein Dreipunkt-Biegeversuch entspre-

chend DIN EN ISO 207995-2 [49] mit einer Universalprüfmaschine[27] durchgeführt. Die Biegeeinrichtung bestand aus einer Druckfinne und zwei polierten, zylinderförmigen Auflagern mit einem Durchmesser von 3,2 mm und 10,5 mm Länge. Die Auflager waren parallel zueinander angebracht. Der Abstand zwischen den Mittelpunkten der Auflager betrug 50 mm und die Druckfinne befand sich in der Mitte zwischen den Auflagern (Abb. 5-9).

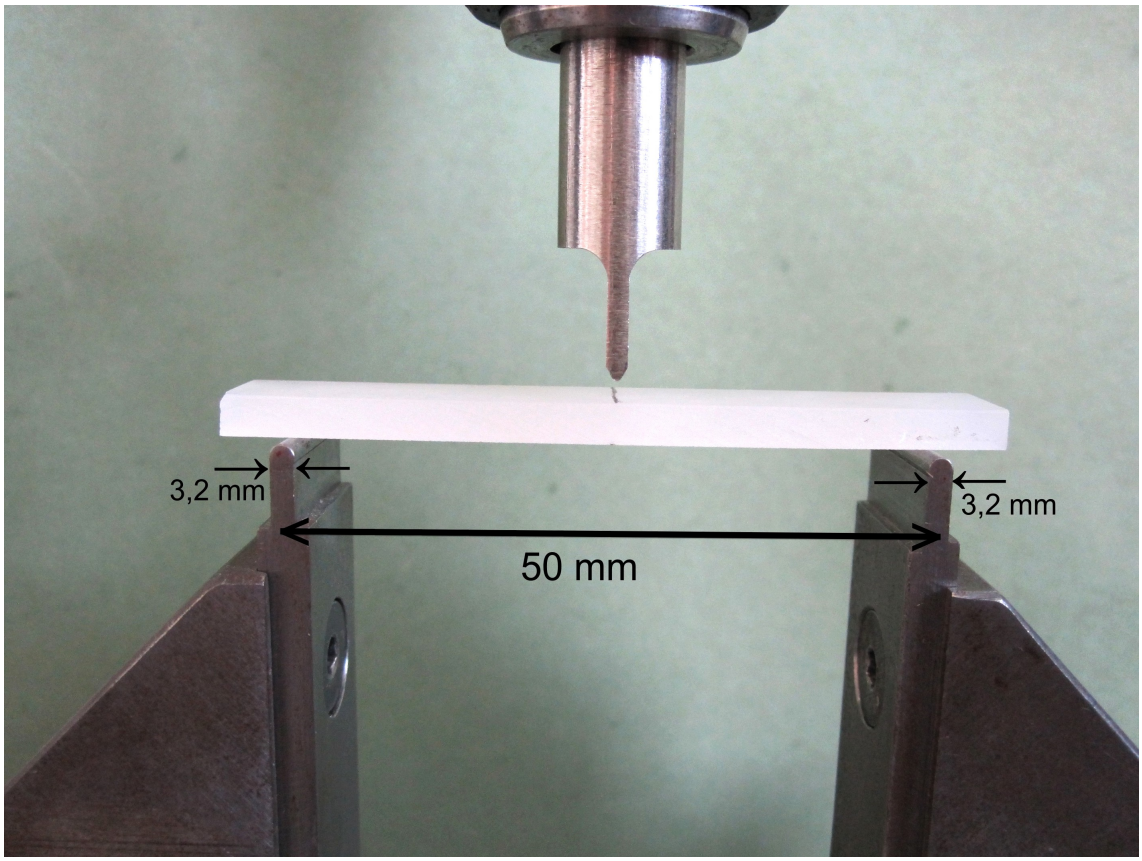

Abb. 5-9 Dreipunkt-Biegeversuch gemäß DIN EN ISO 207995-2

Die Vorschubgeschwindigkeit der Druckfinne betrug gemäß DIN EN ISO 207995-2 [49] 5 mm/min. Bestimmt wurden die Kraft im Moment des Bruchs in

Newton, die Durchbiegung der Prüfkörper in Millimeter bei 15 und bei 50 Newton sowie der Biegemodul und die Biegefestigkeit.

Der Biegemodul gibt an, wie sehr sich ein fester Körper bei einer bestimmten Last σ elastisch verformt (Hooke'sches Gesetz):

$E = \sigma / \varepsilon$,

dabei ist ε die relative Längenänderung Δl über der Referenzlänge l_0:

$\varepsilon = \Delta l / l_0$ [102].

Mit Hilfe von ε kann man berechnen, welchen Querschnitt ein Körper haben muss, um eine unerwünscht starke elastische Verformung unter Belastung zu vermeiden [187]. Für eine 3-Punkt-Belastung eines Körpers mit der Länge l ergibt sich bei einer mittig aufgebrachten Last F im Moment des Bruchs eine maximale Verformung f_{max}:

$f_{max} = F \cdot l^3 / I \cdot 48 \cdot E$.

Der Querschnitt wird dabei über das Flächenträgheitsmoment I berücksichtigt wird. Für den Querschnitt eines Körpers mit der Breite b und der Höhe h gilt somit:

$I = b \cdot h^3 / 12$ [102].

Aus der Verformung bei einer Biegebelastung kann durch eine Umstellung der Gleichung für die maximale Verformung auf den Biegemodul geschlossen werden [17]:

$E = F \cdot l^3 / 4\, bh^3 \cdot f$ wobei

f die Verformung,

F die aufgebrachte Last in Newton,

l mit 50 mm der Abstand zwischen den Auflagern,

b mit 10 mm die Breite des Prüfkörpers,

h mit 3,3 mm die Höhe des Prüfkörpers ist.

Die Biegefestigkeit σ in Megapascal wurde, wie in DIN EN ISO 20795-2 [49] beschrieben, nach:

$\sigma = 3\ Fl / 2\ bh^2$

berechnet. Dabei ist

F die maximale Kraft in Newton, die im Moment des Bruchs auf den Prüfkörper ausgeübt wird,

l mit 50 mm der Abstand zwischen den Auflagern,

b mit 10 mm die Breite des Prüfkörpers,

h mit 3,3 mm die Höhe des Prüfkörpers.

Pro Versuchsreihe wurden zwanzig Proben untersucht, das erste Mal nach einer Woche Wasserlagerung, dann vier Wochen nach Beginn der Wasserlagerung und danach jeweils im Abstand von vier Wochen.

Auf Grund der durch die Verarbeitung in einer offenen Form erzeugten Anisotrophie [195] der Prüfkörper wurden aus jeder Gruppe jeweils 10 Proben von der Seite belastet, die der Öffnung der Hohlform zugewandt war und 10 Proben von der dem Boden der Hohlform zugewandten Seite. So war es möglich, die

Eigenschaften bei Belastung von beiden Seiten zu erfassen.

5.8 Statistische Auswertung der Ergebnisse

Die statistische Auswertung der Messwerte und die Erstellung der Grafiken erfolgte mit der Statistik-Software SPSS[28]. Mittels deskriptiver Statistik wurden Mittelwert, Median, Standardabweichung, Minimum und Maximum bestimmt. Da es sich um Stichproben n kleiner als 30 handelt, verteilen sich die Stichprobenparameter nicht nach der Normalverteilung. Aus diesem Grund wurden sie in Form von Box-Whisker-Plots dargestellt.

Auf eine vergleichende Statistik wurde verzichtet, da sie bei vorliegender Fragestellung keinen zusätzlichen Erkenntnisgewinn verspach.

6 Ergebnisse

6.1 Fluoridfreisetzung

Die Bestimmung der Fluoridfreisetzung während 36 Wochen Wasserlagerung zeigte zunächst einen Anstieg der Fluoridkonzentration im Eluat. Das Maximum wurde am Ende der achten Woche mit einem Medianwert von 3,76 ppm gemessen. Im Weiteren folgte ein Abfall bis auf einen Medianwert von 0,40 ppm in der 36. Woche (Abb. 6-1).

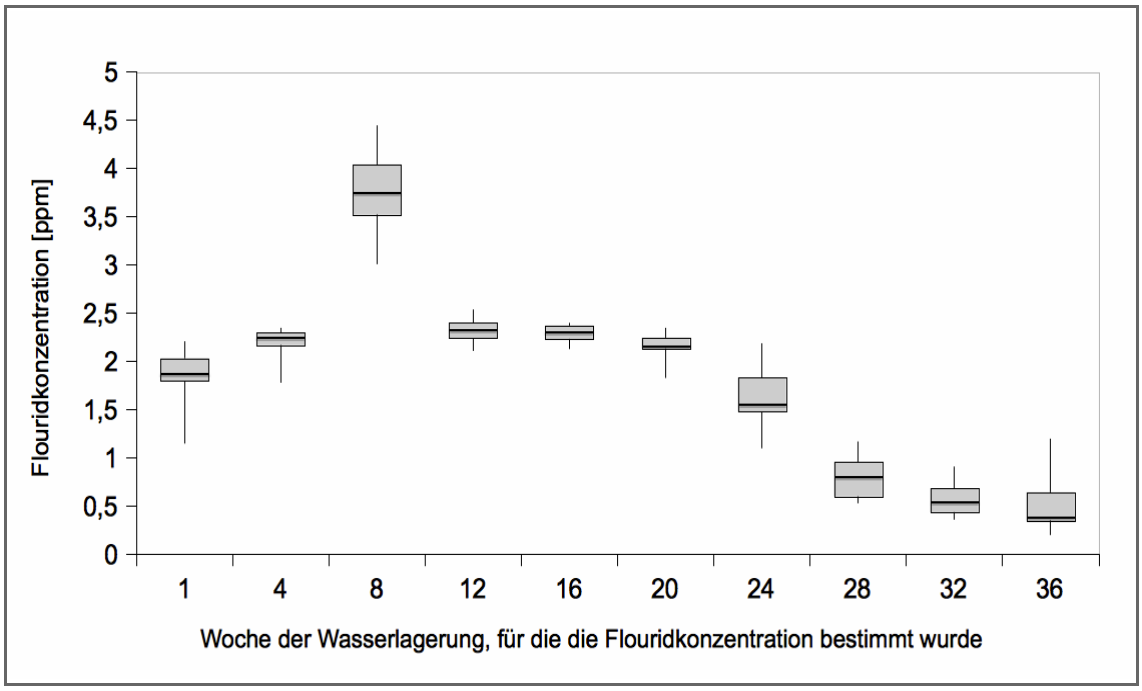

Abb. 6-1 Fluoridkonzentration im Eluat nach 1, 4, 8, 12, 20, 24, 28, 32 und 36 Wochen Wasserlagerung

6.2 Dimensionsverhalten

Während der Lagerung in deionisiertem Wasser[13] kam es zu einer Expansion der Prüfkörper. Die Länge nahm bis zur achten Woche deutlich zu, stieg dann nur noch leicht bis zur 20. Woche auf 0,36 % Längenzunahme gegenüber dem Ausgangswert, um sich asymptotisch 0,30 % zu nähern (Abb. 6-2).

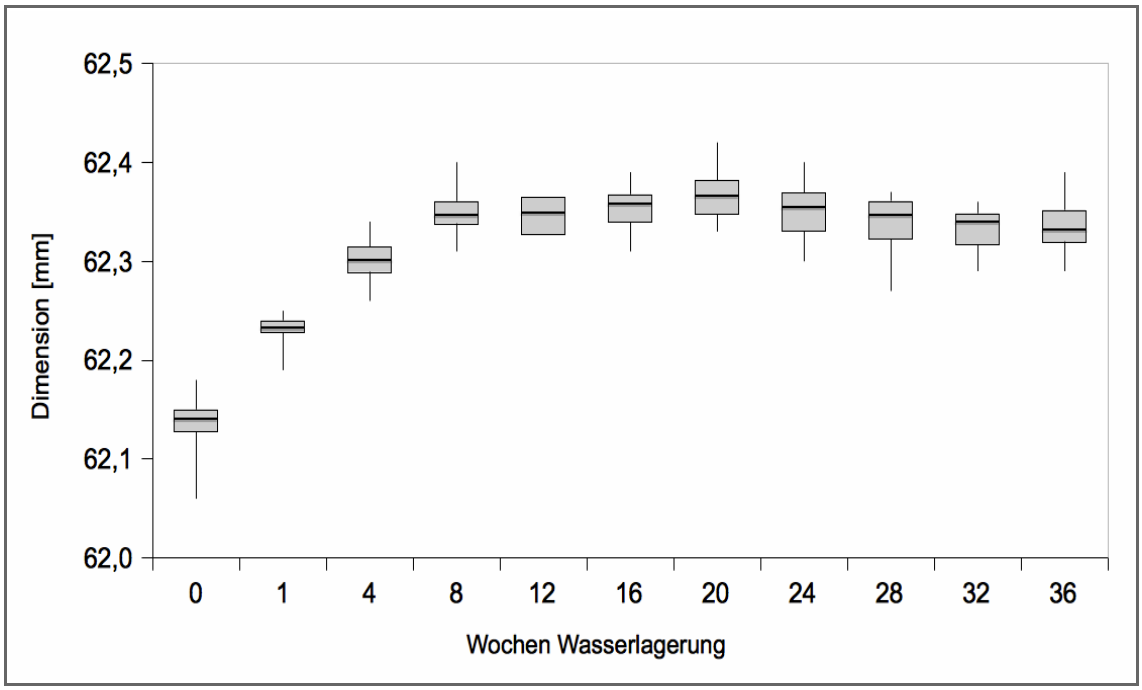

Abb. 6-2 Längenänderung während 36 Wochen Wasserlagerung [mm] in Relation zur Länge der frisch hergestellten Probe. Verglichen wurden die Dimensionsänderungen der einzelnen Proben.

6.3 Veränderung der Oberflächeneigenschaften

Die Ergebnisse der Profilometrie (maximale Rautiefe R_{max} in µm, gemittelte Rautiefe R_z in µm, Mittenrauwert R_a in µm, maximale Rautiefe R_t in µm sowie Mittenrauwert R_q in µm) wurden erstmalig nach einer Woche Wasserlagerung, dann nach vier Wochen und darauf folgend jeweils nach weiteren vier Wochen bestimmt (Abb. 6-3 bis 6-7).

Die maximale Rautiefe R_{max} erreichte nach zwölf Wochen Wasserlagerung mit 11,59 µm ihren niedrigsten Medianwert und mit 14,28 µm nach 28 Wochen den höchsten (Abb. 6-3).

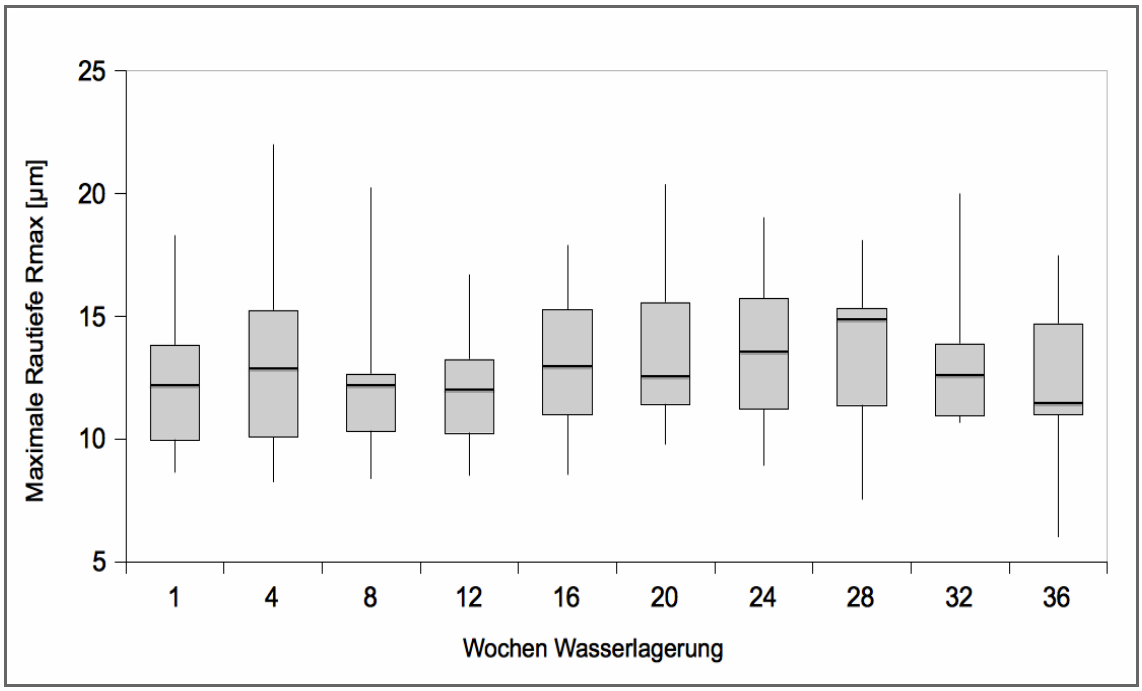

Abb. 6-3 Maximale Rautiefe R_{max} in Abhängigkeit von der Dauer der Prüfkörperlagerung in deionisiertem Wasser

Die gemittelte Rautiefe R_z hat nach 16 Wochen Wasserlagerung mit 9,2 µm seinen maximalen Medianwert, während sie nach einer und dann wieder nach 36 Wochen mit einem Medianwert von 8,6 µm ihren niedrigsten Wert erreichte (Abb. 6-4).

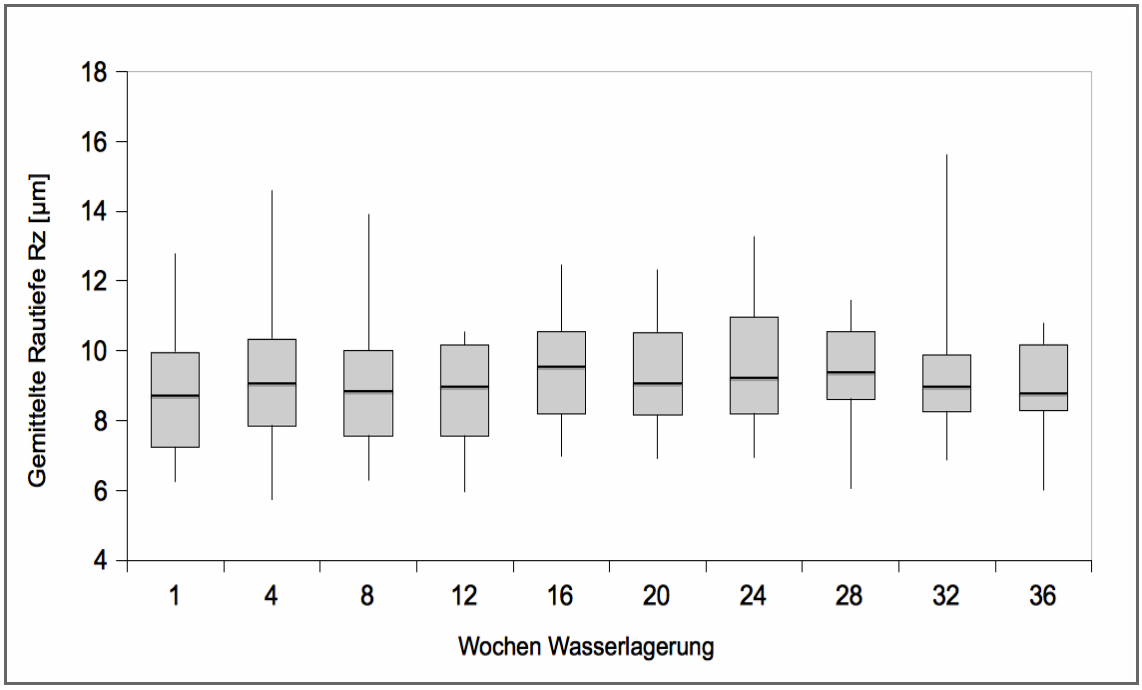

Abb. 6-4 Gemittelte Rauhtiefe R_z in Abhängigkeit von der Dauer der Prüfkörperlagerung in deionisiertem Wasser

Der Mittenrauwert R_a war nach 16 Wochen Wasserlagerung mit einem Medianwert von 1,41 µm am höchsten. Nach 36 Wochen hat er mit 1,27 µm seinen minimalen Medianwert erreicht (Abb. 6-5).

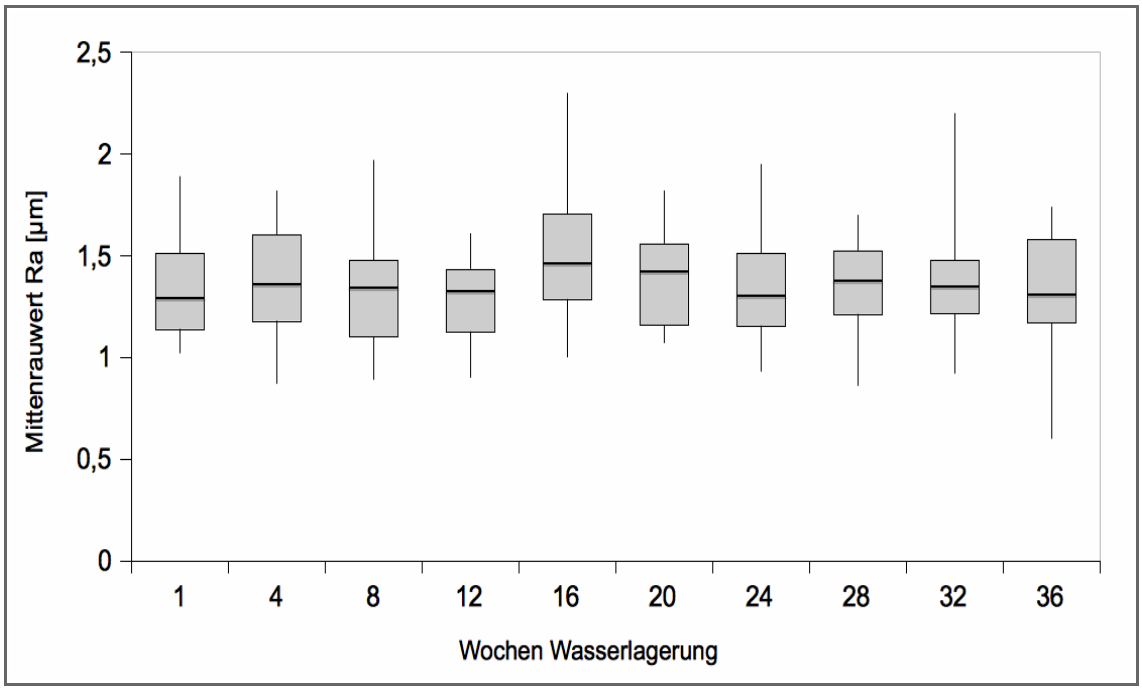

Abb. 6-5 Mittenrauhwert R_a in Abhängigkeit von der Dauer der Prüfkörperlagerung in deionisiertem Wasser

Bei der maximalen Rautiefe R_t lag der minimale Medianwert bei 12,78 µm nach zwölf Wochen Wasserlagerung und der maximale nach 28 Wochen bei 15,1 µm (Abb. 6-6).

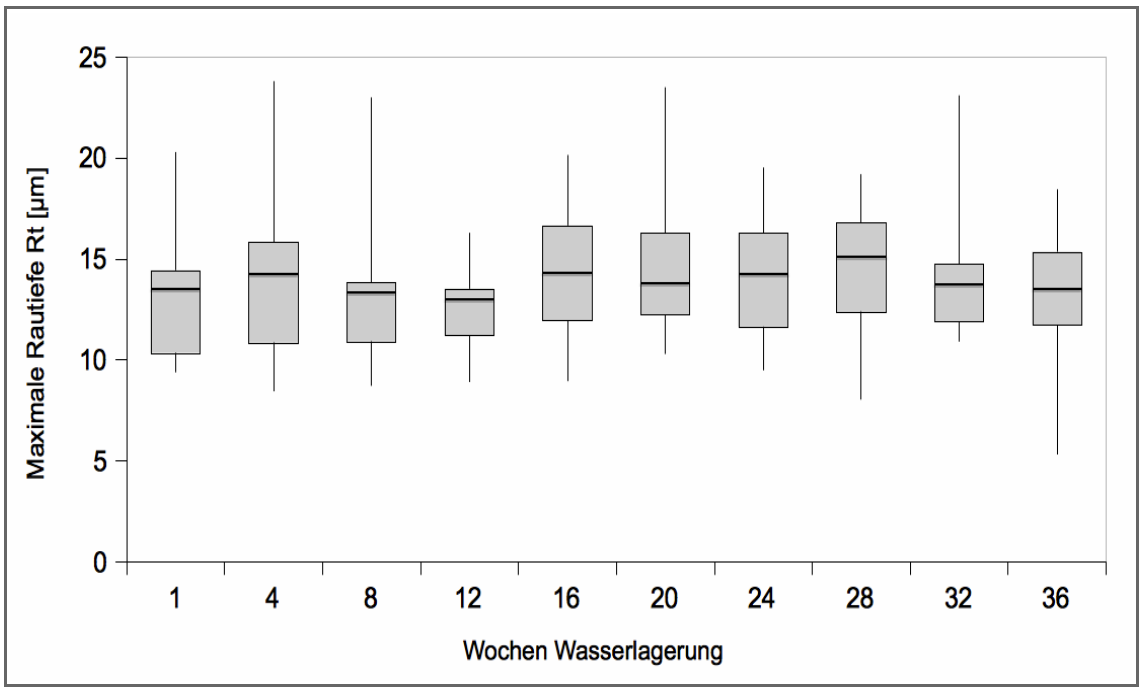

Abb. 6-6 Maximale Rauhtiefe R_t in Abhängigkeit von der Dauer der Prüfkörperlagerung in deionisiertem Wasser

Der Mittenrauwert R_q erreichte mit 1,73 µm seinen niedrigsten Medianwert nach der zwölften Woche und seinen höchsten nach 16 Wochen Wasserlagerung mit 1,85 µm (Abb. 6-7).

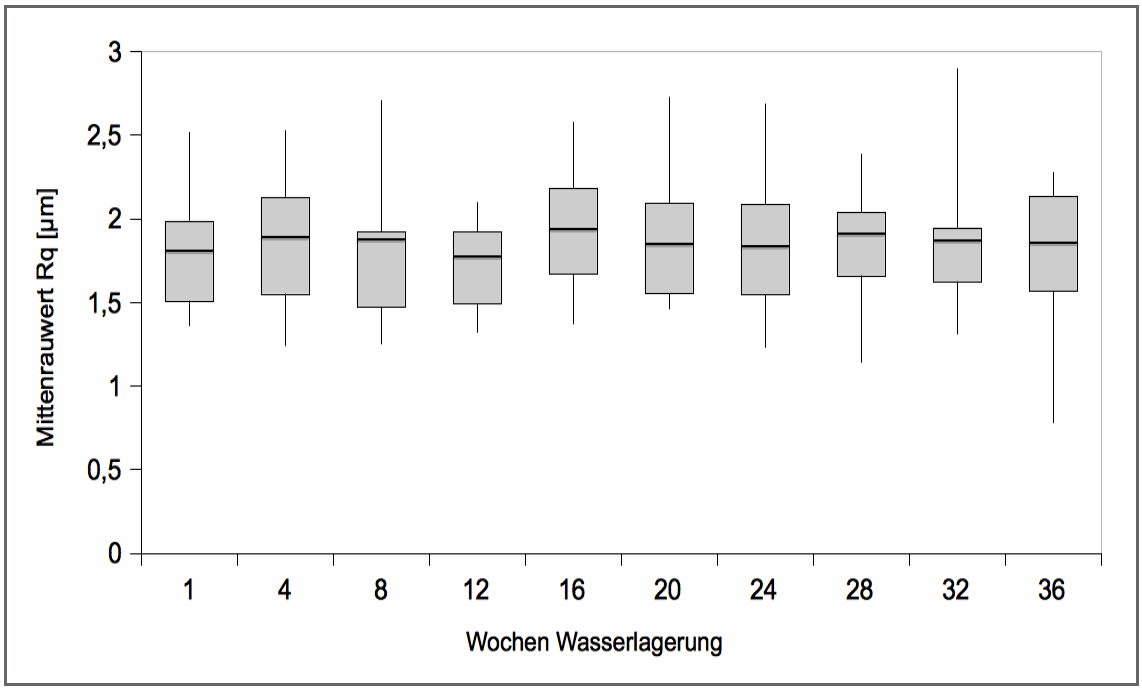

Abb. 6-7 Mittenrauhwert R_q in Abhängigkeit von der Dauer der Prüfkörperlagerung in deionisiertem Wasser

6.4 Veränderung der Biege- und Brucheigenschaften

Der Biegemodul war mit einem Medianwert von 3.125 MPa nach einer Woche Wasserlagerung am größten und erreichte mit 2.845 MPa in der 28. Woche sein Minimum (Abb. 6-8).

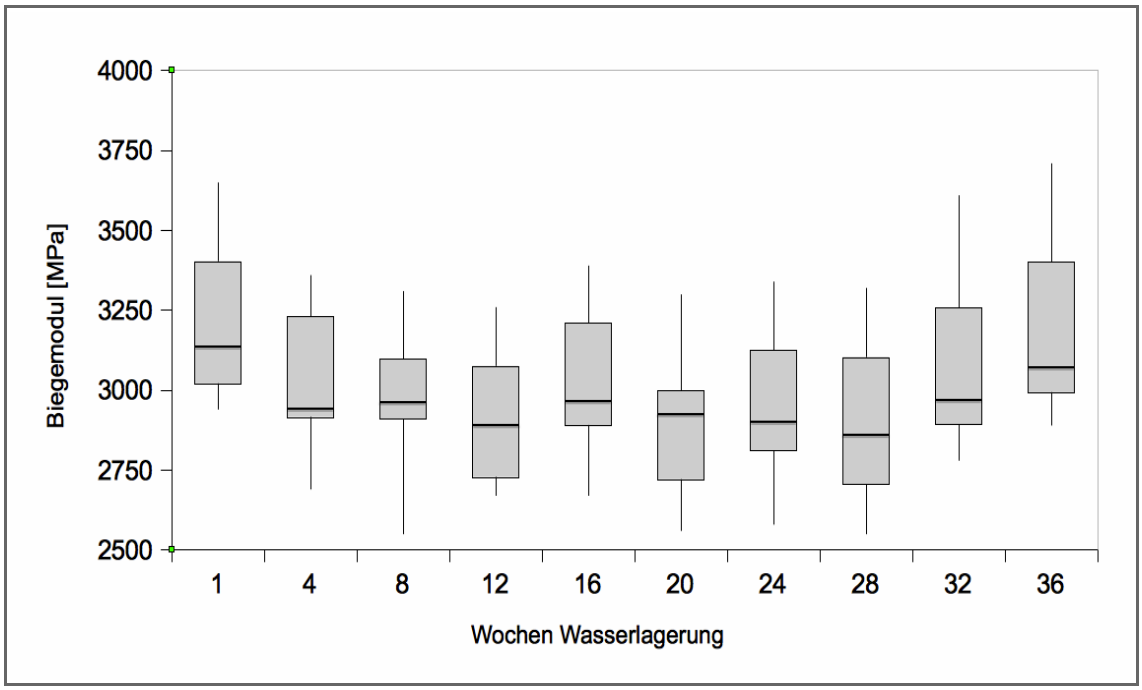

Abb. 6-8 Biegemodul E nach 1 bis 36 Wochen Wasserlagerung in MPa

Die Biegefestigkeit war nach einer Woche Wasserlagerung mit einem Medianwert von 87,6 MPa am höchsten. In der 20. Woche erreichte sie mit 81,8 MPa ihren niedrigsten Wert (Abb. 6-9).

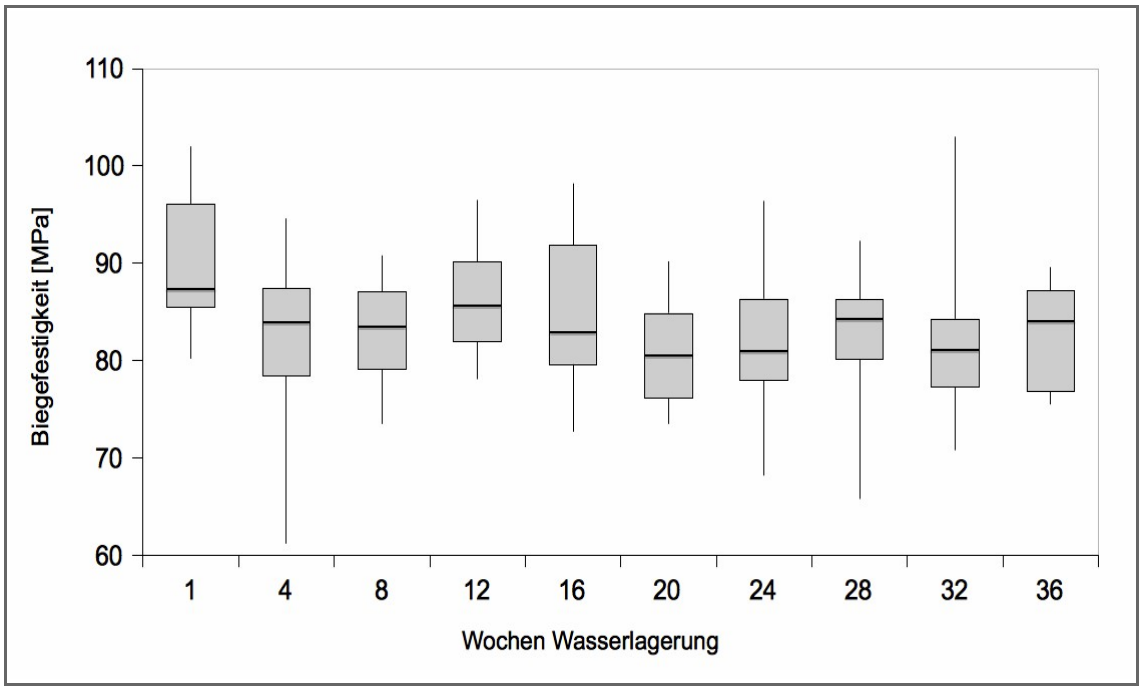

Abb. 6-9 Biegefestigkeit σ nach 1 bis 36 Wochen Wasserlagerung in MPa

Bei der Durchbiegung unter 15 N Belastung wurde mit 0,36 mm der maximale Medianert nach 12 Wochen Wasserlagerung erreicht, der geringste Medianwert mit 0,32 mm nach 36 Wochen.

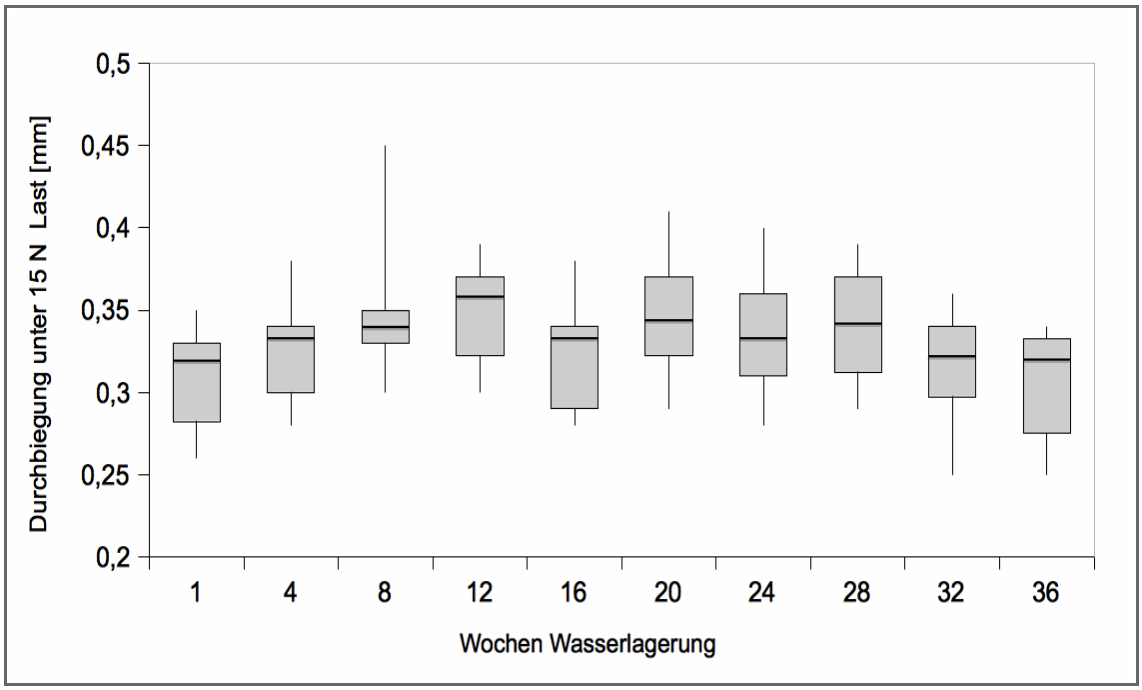

Abb. 6-10 Durchbiegung der Proben im Dreipunkt-Biegeversuch nach DIN EN ISO 207995-2 unter 15 N Last in mm

Bei einer Durchbiegung unter 50 N Belastung wurde ebenfalls nach 36 Wochen mit 1,36 mm der geringste Medianwert erreicht. Der höchste Wert beträgt hier 1,49 mm nach 20 Wochen Wasserlagerung (Abb. 6-10 und 6-11).

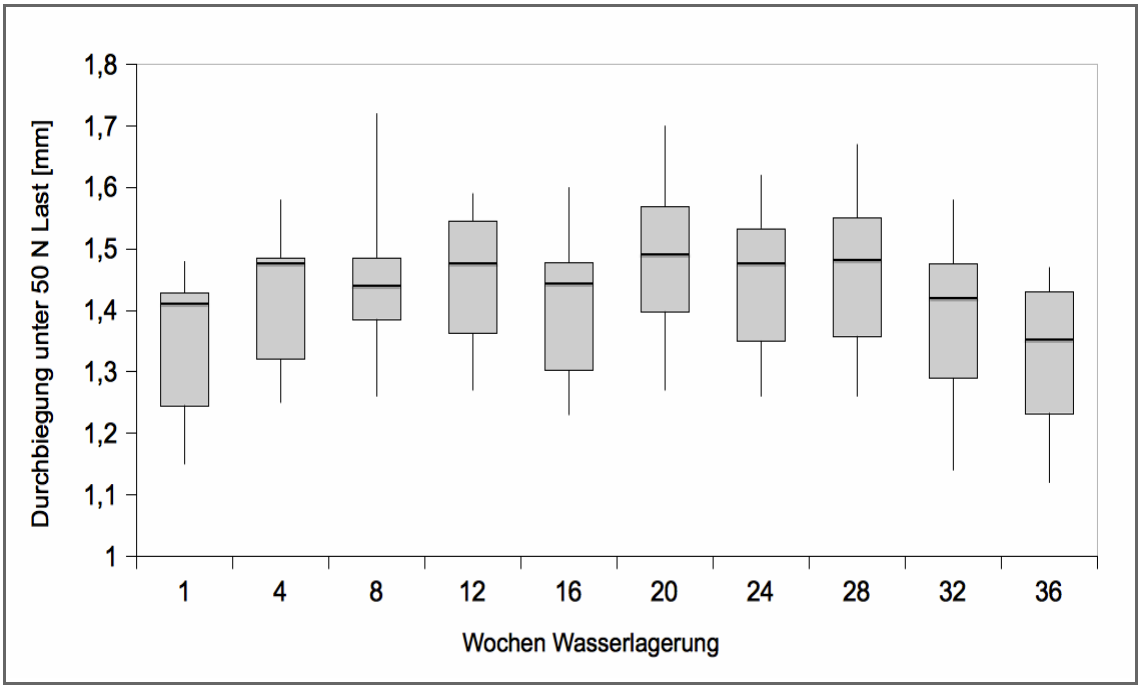

Abb. 6-11 Durchbiegung der Proben im Dreipunkt-Biegeversuch nach DIN EN ISO 207995-2 unter 50 N Last in mm

Die Bruchfestigkeit zeigte während der 36 Wochen Wasserlagerung mit einem maximalen Medianwert von 127,19 N nach der ersten Woche und dem geringsten Wert von 117,31 N nach 32 Wochen nur geringe Unterschiede auf (Abb. 6-12).

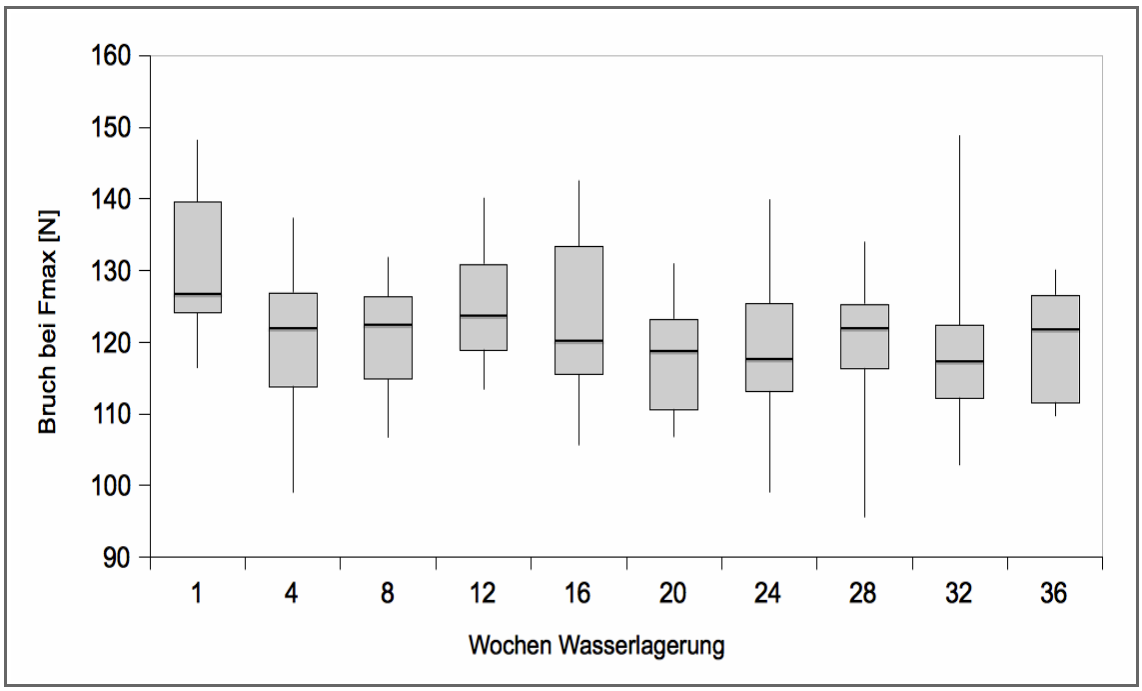

Abb. 6-12 Kraft im Moment des Bruchs (F_{max}) in N im 3-Punkt-Biegeversuch

7 Diskussion

7.1 Diskussion der Fragestellung

Daran, dass Fluorid eine kariesprotektive Wirkung hat, besteht kein Zweifel [4,7, 54,83,84,93,107,132,167,192,216,218,224,226,227,237,243,250]. Da diese Wirkung auf dem direkten Kontakt der Zahnoberfläche mit dem Fluorid beruht, hat sich als Alternative zur systemischen Fluoridierung die lokale Fluoridapplikation durchgesetzt. Als günstig hat sich eine möglichst häufige Fluoridanwendung erwiesen [4,165,212], wobei bereits geringe Mengen Fluorid ausreichen, um eine kariesprotektive Wirkung zu erzielen [93]. Eine Möglichkeit, kleine Mengen Fluorid kontinuierlich zur Verfügung zu stellen, ist dessen Beimengung zu PMMA-Kunststoff, der zur Herstellung kieferorthopädischer Apparaturen verwendet wird [35,155,156,182]. Es ist bekannt, dass PMMA-Kunststoffe mit Fluoridzusatz dieses konzentrationsabhängig an das umgebende Medium abgeben [155]. Darüber hinaus weiß man, dass der Fluoridgehalt der oberen Schmelzschicht, die kieferorthopädischen Apparaturen aus Orthocryl® Plus mit 10 % Kalziumfluorid direkt anlag, gegenüber Schmelzoberflächen ohne direkten Kontakt, signifikant ansteigt [105]. Der Zusatz von 10 % Kalziumfluorid zum PMMA-Kunststoff verändert dessen Materialeigenschaften gegenüber Kunststoff ohne Fluoridzusatz nicht signifikant [106,155].

Bisher noch nicht untersucht wurde, ob und wie viel Fluorid über einen Zeitraum von mehr als 6 Wochen aus PMMA-Kunststoff mit Kalziumfluoridzusatz freigesetzt wird und inwieweit dessen Materialeigenschaften während längerer Fluoridfreisetzung konstant bleiben. Der Klärung dieser Fragen dient die vorliegende Arbeit.

7.2 Diskussion der Materialauswahl

Bei dem untersuchten Material handelt es sich Orthocryl® Plus[1], einem Polymethylmethacrylat (PMMA) mit 10 % Kalziumfluoridzusatz der Firma Dentaurum. Dieser Kunststoff wurde gewählt, da zu Orthocryl® Plus[1] schon Studien vorliegen, die sich mit dessen Fluoridfreitzung [105,155] und/oder dessen mechanischen Eigenschaften [106,155] beschäftigen.

7.3 Diskussion der Untersuchungsmethoden

7.3.1 Prüfkörperherstellung

Bei den Prüfkörpern handelte es sich um PMMA-Kunststoffstreifen aus Orthocryl® Plus[1]. Sie sind 64,0 mm lang, 10,0 mm breit und 3,3 mm hoch und

wurden durch Sägen, Fräsen und Schleifen aus Probekörperplatten hergestellt (siehe Kapitel 4.2).

Während der Herstellung der Probekörperplatten sollte durch das 15-minütige Wässern der Gipsform vor dem Einfüllen von Orthocryl® Plus[1] vermieden werden, dass aus dem Modell austretende Luftblasen den Kunststoff abheben und verformen oder in diesen eindringen. Dies hätte einerseits durch die mögliche Verformung der Probekörperplatten zu Problemen bei der späteren Weiterverarbeitung führen können und andererseits zu verfälschten Messergebnissen durch Hohlräume in den Prüfkörpern.

Um eine bessere Vergleichbarkeit der Proben zu erreichen, wurde auf die in der Kieferorthopädie bevorzugte Streutechnik verzichtet und der Kunststoff mit Hilfe der Anteigtechnik verarbeitet. Dadurch war gewährleistet, dass das Orthocryl® Plus[1] immer im gleichen Volumenverhältnis von 2,5 Teilen Pulver zu 1 Teil Flüssigkeit angemischt werden konnte. Da in der kieferorthopädischen Praxis zumeist die Streutechnik zur Anwendung kommt, sind die Ergebnisse dieser Untersuchung so nicht direkt auf den Praxisalltag übertragbar. Dies ist aber auch nicht Ziel der vorliegenden Arbeit. Welche mechanischen Eigenschaften Orthocryl® Plus[1] besitzt, wurde schon an anderer Stelle untersucht [106,155]. Hier sollte vielmehr die Veränderung der Fluoridfreisetzung und der mechanischen Eigenschaften in Abhängigkeit von der Zeit ermittelt werden.

Die Seiten der Prüfkörper, die während der Polymerisation dem Gips zugewandt waren, wurden anschließend mit Schleifpapieren[10] bis zu einer Körnung von

14 µm (P1200) bearbeitet. Die der offenen Seite der Gipsform zugewandte Seite behielt ihre durch die Fräsmaschine[8] bearbeitete Oberfläche. Da die Prüfkörper nicht hochglanzpoliert wurden, sind die Ergebnisse nicht direkt auf die klinisch eingesetzten kieferorthopädischen Apparaturen übertragbar. Wie schon oben erwähnt, war dies ebenfalls nicht Ziel dieser Untersuchung, sondern die Veränderung der Fluoridfreisetzung und der mechanischen Eigenschaften in Abhängigkeit von der Zeit.

Zunächst wurden alle Prüfkörper angefertigt und erst danach wurde mit den Versuchen begonnen. Um einen systematischen Fehler durch Unterschiede zwischen den einzelnen Prüfkörpern, die Folge von Übungseffekten bei der Herstellung gewesen sein könnten, zu vermeiden, wurden die Prüfkörper vor Beginn der Versuche zufällig den einzelnen Messzeitpunkten zugeordnet. Jeder Prüfkörper bekam seine eigene Prüfkörpernummer zugeordnet und für jeden einzelnen Prüfkörper wurde zuerst die Länge bestimmt. Es folgte die Wasserlagerung und darauf die Messung der Fluoridfreisetzung und die der Dimensionsänderung. Danach wurden die Oberflächeneigenschaften und erst abschließend die Biege- und Brucheigenschaften ermittelt, da dieses mit dem Bruch des jeweiligen Prüfkörpers endete.

7.3.2 Wasserlagerung und Bestimmung der Fluoridfreisetzung

Die Prüfkörper wurden in Polypropylen Röhrchen[12] gelagert, da dieser Kunststoff nach Angaben des Herstellers weder Fluorid enthält noch damit reagiert, wohingegen Fluorid mit Glas reagiert [14]. Als Lagermedium wurde deionisiertes Wasser[13] verwendet, welches ebenfalls fluoridfrei ist. Um sicher zu sein, wurde auch eine Fluoridbestimmung des Lagermediums[13] im Polypropylen Röhrchen[12] ohne Prüfkörper vorgenommen. Es konnte kein Fluorid nachgewiesen werden.

Die Menge des von Orthocryl® Plus[1] freigesetzten Fluorids ist abhängig von der Art des Lagermediums [11,168,186,203] und dessen Volumen sowie von der Form der Prüfkörper [99] und der Probenröhrchen [60].

Durch die wöchentliche Erneuerung der Lagerungsflüssigkeit sowie der Polypropylen Röhrchen[12] sollte einerseits eine Besiedelung der Prüfkörper durch Mikroorganismen verhindert werden. Andererseits sollte verhindert werden, dass sich ein Lösungsgleichgewicht einstellt, was eine kontinuierliche Fluoridfreisetzung verhindert hätte. Wäre das Lagerungsmedium in noch kürzeren Zeitabständen ausgetauscht worden, hätte unter Umständen die Gefahr bestanden, dass die Erfassungsgrenze der Fluorid-Elektrode von 0,02 ppm Fluorid unterschritten worden wäre [14]. Durch den regelmäßigen Austausch der Lagerungsflüssigkeit nähert man sich auch etwas der Situation, in der sich der Kunststoff im Mund befindet, wo er ständig von Speichel umspült wird.

Die Bestimmung der Fluoridfreisetzung erfolgte mittels fluoridionenselektiver

Elektrode[16], wobei es sich um die am häufigsten angewandte Methode zur Fluoridbestimmung in wässrigen Lösungen handelt [35,99,104].

Zahlreiche Studien zur Fluoridfreisetzung aus fluoridhaltigen Füllungsmaterialien haben gezeigt, dass im Vergleich zur Lagerung von Proben in deionisiertem Wasser bei einer Lagerung in Speichel stets eine geringere Menge von Fluorid abgegeben wurde [78,112,129,168,180,186,202].

LEVALLOIS et al. [129] begründen die höhere Fluoridfreisetzung in destilliertem Wasser verglichen mit der in Speichel mit dem Vorhandensein von Kalziumionen im Speichel. Die dadurch entstehende schwer lösliche CaF_2-Deckschicht bildet ihrer Ansicht nach eine physikalische Barriere auf der Materialoberfläche.

PRESTON et al. [180] erklären die bedeutend höhere Fluoridfreisetzung in Aqua bidest. mit der größeren Viskosität von Speichel. Diese erschwert das Eindringen des Speichels in das Material und damit das Herauslösen von Ionen.

Hinzu kommt, dass demineralisiertes Wasser im Unterschied zu Speichel keine Fremdionen enthält. Dadurch ist das Konzentrationsgefälle zwischen Lagermedium und Probe höher als bei Speichel. Das führt zu einer erhöhten Freisetzung von Fluorid, welches entlang des Konzentrationsgefälles aus der Probe in das demineralisierte Wasser diffundiert [112,202].

ATTIN et al. [11] stellten fest, dass die Fluoridfreisetzung von Kompomeren in saurem Milieu höher ist als in neutralem Milieu. Zu ähnlichen Ergebnissen kamen auch SCHIFFNER et al. [203]. Die in der vorliegenden Studie gemessenen Fluoridabgaben könnten folglich intraoral im Falle einer kariogenen

Attacke, die mit einer Absenkung des pH-Wertes einhergeht, höher ausfallen. Eine denkbare Alternative zu deionisiertem Wasser ist künstlicher Speichel. Dessen Zusammensetzung variiert jedoch. WANDERA et al. [239] begründeten die höhere Fluoridfreisetzung in deionisiertem Wasser mit dem höheren Konzentrationsgefälle gegenüber künstlichem Speichel. In ihm enthaltene Ionen können darüber hinaus mit dem Fluorid reagieren oder vom Material absorbiert werden und so die Fluoridfreisetzung herabsetzen.

Da in der vorliegenden Studie deionisiertes Wasser als Lagermedium diente, ist also davon auszugehen, dass die gemessene Fluoridfreisetzung in vivo deutlich geringer ausfällt.

7.3.3 Dimensionsverhalten

Die Ausgangslängen der Probekörperstreifen variierten leicht. Der minimale Wert lag bei 62,03 mm und der maximale betrug 62,19 mm. Deshalb erschien es sinnvoll, jeweils dieselben Proben vor und nach Abschluss der Wasserlagerung miteinander zu vergleichen, anstatt alle zu Beginn der Wasserlagerung erhobenen Werte zusammenzufassen und dann zu den Mittelwerten nach Entnahme der Proben ins Verhältnis zu setzen.

So wurde die Länge aller 200 Proben erstmals vor dem Beginn der Wasserlagerung unter Zuhilfenahme eines Messschiebers[15] ermittelt. Um eventuelle Unge-

nauigkeiten durch eine einmalige manuelle Vermessung der Prüfkörper auszugleichen, wurde jeder Prüfkörperstreifen viermal vermessen und anschließend gemittelt (vergleiche Abb. 5-7 a – 5-7 d). Nach einer Woche Wasserlagerung wurden die Prüfkörper 1 bis 20 erneut wie oben beschrieben vermessen.
Die in vergleichbaren Arbeiten [50,106] angewandte Methode der Bestimmung der Dimensionsänderung mittels Messmikroskop und aus der Urform in den Kunststoff übertragenen Impressionen wurde nach unbefriedigenden Ergebnissen in Vorversuchen verlassen. Das präzise Übertragen der Impressionen vom Urmodell auf die Gipsform und folgend auf den Kunststoffprüfkörper gelang nicht. Darüber hinaus hätte die im Rahmen der Biegeversuche von der DIN EN ISO 20795-2 [49] geforderte Oberflächenbearbeitung der Prüfkörper die Impressionen verändert.

7.3.4 Profilometrie

Zur Bestimmung der Oberflächenrauigkeit wurde die mechanische Profilometrie angewandt. Diese kam in der Vergangenheit in der Zahnmedizin häufig zur Anwendung [27,100,187,232].
Gestaltabweichungen werden gemäß DIN 4760 [46] in sechs Ordnungen unterteilt. Die Abweichungen 1. bis 4. Ordnung unterscheiden sich in ihren horizontalen Merkmalsausprägungen. Bei den Gestaltabweichungen 2. bis 5. Ordnung

handelt es sich um die Welligkeit und die Rauheit. Zur Prüfung der Feingestaltabweichungen 2. bis 5. Ordnung wird häufig das Tastschnittverfahren angewendet [232]. Dabei werden mit einem Mikrotaster dreidimensionale Oberflächen als zweidimensionale Profilschnitte abgetastet [22]. Die dabei entstehenden vertikalen Tastspitzenauslenkungen werden messtechnisch erfasst und durch einen Messwertwandler in elektrische Werte umgewandelt. Das Perthometer führt anschließend die Messwertverarbeitung durch [18].

Als Aufnehmer wurde hier ein nicht selbstausrichtendes Bezugsflächentastsystem verwendet, welches parallel zur Oberfläche des Prüfkörpers ausgerichtet wurde. Bei diesem werden die Relativbewegungen der Tastspitze zur geometrisch idealen Bezugsfläche gemessen. Somit können neben der Rauheit auch Formabweichungen und Welligkeiten erfasst werden. Das Bezugsflächentastsystem erzeugt also, im Gegensatz zum Kufentastsystem, keine Verfälschung des Oberflächenprofils [22].

Es wurden ausschließlich die bei der Polymerisation dem Gips zugewandten Prüfkörperoberflächen abgetastet, um alle Messwerte miteinander vergleichen zu können. Die Taststrecke betrug jeweils 5,6 mm, die Gesamtmessstrecke 4 mm. Um Zufallsergebnisse größtenteils auszuschließen, wurde an 4 Stellen pro Prüfkörper gemessen, und die Messwerte wurden gemittelt. So konnte auch ausgeschlossen werden, dass die Ergebnisse durch eventuelle Veränderungen der Oberfläche durch den Tastdiamanten verfälscht werden.

Der verwendete Taster FRW 750 arbeitet mit einer 90° Diamant-Tastspitze mit

einem Spitzenradius von 10 µm. Der Öffnungswinkel von mechanisch bearbeiteten Oberflächen ist größer als 120°, wodurch die Grenze der noch erfassbaren Rautiefe bei R_z > 1 µm liegt [197]. Das heißt, dass beispielsweise Risse oder Spalten, die kleiner als 1 µm sind, nicht erfasst werden.

Die normgerechte Erfassung von unterschiedlichen Oberflächenabweichungen 1. bis 4. Ordnung (Formabweichung, Welligkeit und Rauheit) macht es notwendig, diese getrennt zu erfassen [22]. Dies erfolgte in der vorliegenden Arbeit mit Hilfe eines elektrischen Filters. Da es keine festen horizontalen Begrenzungen der unterschiedlichen Gestaltabweichungen gibt, ist es nicht möglich, die Formabweichung gänzlich ohne Rauheit und die Rauheit ohne Formabweichung und Welligkeit darzustellen. Bei der elektrischen Filterung werden zur Trennung der Gestaltabweichungen, der Welligkeit und der Rauheit Hoch- und Tiefpassfilter verwendet. Beim Abtasten der Oberfläche entstehen Tastspitzenbewegungen verschiedener, sich überlagernder Wellenlängen. Tastspitzenbewegungen von niedriger Frequenz werden durch langwellige Oberflächenabweichungen (Welligkeit) erzeugt, kurzwellige Abweichungen (Rauheit) führen dagegen zu Tastspitzenbewegungen von hoher Frequenz. Hochpassfilter dämpfen die niedrigen Frequenzen, wodurch die durch die Rauheit erzeugten hohen Frequenzen ungedämpft den Filter passieren können. Aus dem resultierenden Rauheitsprofil konnten die Rauheitsmaße R_z, R_{max}, R_t, R_a und R_q bestimmt werden [22].

Der Mittenrauwert R_a ist das arithmetische Mittel der absoluten Beträge der

Profilabweichungen innerhalb der Gesamtmessstrecke [22]. Einzelne Profilausreißer bleiben so weitgehend unberücksichtigt, was zur Folge hat, dass die Messwerte bei der Abtastung der Prüfkörpers an unterschiedlichen Flächenausschnitten vor allem gegenüber der maximalen Rautiefe R_{max}, aber auch der gemittelten Rautiefe R_z relativ konstant bleiben [232].

Die gemittelte Rautiefe R_z ist der Mittelwert aus fünf maximalen Einzelrautiefen von fünf aufeinander folgenden Einzelmessstrecken im gefilterten Rauheitsprofil. Die gemittelte Rautiefe R_z gibt somit Auskunft über die durchschnittliche vertikale Oberflächenzerklüftung, da einzelne Ausreißer nur zum Teil ins Ergebnis einfließen. Das bedeutet, dass wenn innerhalb der Gesamtmessstrecke nur ein Ausreißer gemessen wird, dieser auch nur zu 20 % berücksichtigt wird [22]. Im Vergleich zum arithmetischen Mittenrauwert R_a reagiert die gemittelte Rautiefe R_z auf Profilausreißer wesentlich sensibler. Dies macht ihn leichter interpretierbar und gibt eher Auskunft über die durchschnittliche vertikale Profilzerstörung. Darüber hinaus ist eine Ermittlung aus dem Profildiagramm möglich.

Die maximale Rautiefe R_{max} ist die größte der auf der Gesamtmessstrecke vorkommenden Einzelrautiefen, die maximale Rautiefe R_t der Abstand zwischen höchstem und tiefstem Punkt des Rauheitsprofils innerhalb der Messstrecke.

Der Mittenrauwert R_q ist der geometrische Mittelwert aller Beträge des Rauheitsprofils innerhalb der Gesamtmessstrecke [18].

Rauheitsmessungen an Oberflächen können unter anderem mit Hilfe optischer Verfahren durchgeführt werden. So können bei der Lichtschnittmikroskopie

Rautiefen R_z > 1 µm bestimmt werden und bei einem anderen Verfahren, der Interferenzmikroskopie, sind Rautiefenunterschiede ≥ 0,02 µm messbar [22]. Optische Laser-Tastsysteme werden bevorzugt eingesetzt, wenn es um das berührungslose Messen der Oberflächeneigenschaften von Messobjekten aus empfindlichen Materialien (Lack, Wachsbeschichtung, Glas, Gummi) geht. Die berührungslose Messwerterfassung ist auch bei sehr harten Werkstoffen wie Keramik und Diamant vorteilhaft, da es bei berührender Abtastung an der Diamant-Tastspitze zu einem erhöhten Verschleiß kommt [22]. Mittels optischer 3-D-Oberflächenmesstechnik, die auf dem Prinzip der Fokus-Variation basiert, ist es sogar möglich, Rauheiten mit einer Auflösung von bis zu 10 nm zu erfassen.

Ein Nachteil des hier verwandten Tastschnittverfahrens ist die begrenzte Genauigkeit der Messmethode. Sie wird weitgehend durch die Geometrie der Tastspitze bestimmt. Da es sich in der vorliegenden Arbeit um mechanisch bearbeitete Oberflächen handelt, bei denen Rauheitsprofile entstehen, deren Öffnungswinkel im Allgemeinen größer als 120° ist, sind bei einem Tastspitzenradius von 5 µm jedoch Rauheitsmessungen von nur R_z > 1 µm ohne größere Verfälschungen möglich [22,197].

Ein weiterer Nachteil des mechanischen Tastschnittverfahrens ist, dass die Ermittlung der Oberflächen-Kennwerte aus einem zweidimensionalen Profilschnitt erfolgt, die Oberfläche jedoch dreidimensional ist. Auch werden die Oberflächen-Kennwerte nur aus Teilbereichen der Oberfläche bestimmt. Die in

dieser Arbeit zu klärende Frage, ob und in welchem Umfang sich die Oberflächenrauheit der Prüfkörper im Laufe der Wasserlagerung durch eventuelle Fluoridfreisetzung ändert, kann jedoch auch anhand linearer Messungen beantwortet werden. Da die Messbereiche bei allen Prüfkörpern die gleichen waren, sind die Ergebnisse miteinander vergleichbar.

7.3.5 Biege- und Brucheigenschaften

Mechanische Eigenschaften von Werkstoffen sind abhängig von ihrer Form und Dimension, der Verarbeitungsweise sowie den chemischen und physikalischen Eigenschaften. Werkstoffprüfungen werden oftmals nach festgelegten Normvorschriften (DIN = Deutscher Normenausschuss, ISO = International Organization for Standardization) durchgeführt, um einen Vergleich mit anderen Werkstoffen oder anders hergestellten gleichen Werkstoffen zu ermöglichen [67].
Entsprechend der Belastung im Mund infolge ungleicher Spannungsverteilung [117] wird die mechanische Festigkeit von Acrylaten im Biegeversuch ermittelt [143,144]. Beim Biegeversuch sind verschiedene Belastungsfälle eines Prüfkörpers möglich:

1. Er ist einseitig eingespannt und wird an seinem freien Ende belastet.
2. Er liegt auf zwei Stützen und wird mittig durch eine Einzelkraft belastet.
3. Er wird durch zwei symmetrisch angreifende, gleiche Einzelkräfte

zwischen zwei Stützen belastet.

Der Verlauf des Biegeversuches wird in einer Kraft-Durchbiegungs-Kurve dargestellt. Die vertikale Achse zeigt die Biegekraft, die horizontale Achse die Durchbiegung. Der Quotient aus dem im Biegeversuch ermittelten Biegemoment beim Bruch des Prüfkörpers und dessen Widerstandsmoment wird als Biegefestigkeit bezeichnet [67].

Eine wichtige Größe stellt dabei auch der Elastizitätsmodul dar, der als Größe der Durchbiegung bei gegebener Belastung definiert ist. Hierbei ist der Elastizitätsmodul um so kleiner, je größer die Durchbiegung bei steigender Belastung [143,144].

In der vorliegender Arbeit wurden gemäß DIN EN ISO 20795-2 [49] die Biegefestigkeit und der Biegemodul mittels Dreipunkt-Biegeversuch ermittelt.

In einer ähnlich aufgebauten Studie untersuchten OTTL et al. [171] ein Heißpolymerisat, zwei Kaltpolymerisate, eine Kombination aus Tiefziehfolie und Kaltpolymerisat und zwei lichthärtende Kunststoffe zur Herstellung von Aufbissschienen. Die Biegefestigkeit der untersuchten Kunststoffe lag zwischen 29,8 MPa und 73,1 MPa, der E-Modul zwischen 714 MPa und 2438 MPa.

Auch LANG und Mitarbeiter [123] bestimmten die Biegefestigkeit von Prothesenmaterialien vor und nach künstlicher Alterung durch UV-Exposition mittels Dreipunkt-Biegeversuch. Es wurden Biegefestigkeitwerte von 74 bis 107 MPa vor, sowie 74 bis 109 MPa nach 24 Stunden künstlicher Alterung festgestellt.

JOST-BRINKMANN et al. [106] untersuchten den Einfluss von Farbstoffen,

Glitter und Kalziumfluorid auf das Biege-, Bruch- und Kontraktionsverhalten von kieferorthopädischen PMMA-Kunststoffen. Die Biege- und Bruchversuche erfolgten ebenfalls mit einer Dreipunkt-Biegevorrichtung nach ISO-Norm 1567. Bestimmt wurden die Durchbiegung der Proben bei 15 und 50 N Last sowie die Kraft im Moment des Bruchs. Unter anderem um die Ergebnisse der vorliegenden Studie mit den früheren Resultaten derselben Arbeitsgruppe vergleichen zu können, wurde auch hier der Dreipunkt-Biegeversuch gewählt.

Die Verarbeitung der kieferorthopädischen Kunststoffe in offenen Formen unterscheidet sich von den gängigen prothetischen Kunststofftechniken, was sich auf einige Materialqualitäten auswirkt [194]. Durch die in der Kieferorthopädie gebräuchliche Anteig- oder Streumethode wird eine Anisotropie im Sinne einer Zweiseitigkeit der dem Biegeversuch unterworfenen Prüfkörper erzeugt. Es ist also von Bedeutung, welche Oberfläche der Prüfkörper der Druckfinne zugewandt ist [106,195]. Aus diesem Grund wurden in der vorliegenden Arbeit die dem Biegeversuch unterworfenen Prüfkörper jeweils zu 50 % von der Seite belastet, die der Öffnung der Hohlform zugewandt war, und zu 50 % wurde die dem Boden der Hohlform zugewandte Oberfläche belastet. Die Werte pro Belastungsseite wurden nicht gesondert ausgewertet. Wichtig war lediglich, dass die Messungen beider Seiten zu gleichen Anteilen stattfanden, damit nicht fälschlicherweise Abweichungen, die der Anisotropie geschuldet sind, in die Ergebnisse einfließen.

Laut ROSSIWALL et al. [195] ist die Biegefestigkeit bei der Herstellung nach der

Streumethode 3 bis 10 % kleiner als bei der Herstellung nach der Anteigmethode. Die Autoren gehen davon aus, dass der Grund für die geringere mechanische Qualität des Kunststoffes in der Streumethode zu suchen ist. Sie vermuten, dass die auftretende Inhomogenität des Kunststoffgemisches, die von einer mangelnden Benetzung des Polymerpulvers durch die Monomerflüssigkeit und von Lufteinschlüssen hervorgerufen wird, sich negativ auf das Endprodukt auswirken. Möglich ist auch, dass sich die schichtweise und zeitlich versetzte Polymerisation negativ auf die Festigkeit des Kunststoffes auswirkt.

In der Praxis wird im Allgemeinen die Streumethode bevorzugt, bei der Pulver und Flüssigkeit direkt auf dem Gipsmodell vermischt werden. Sie erlaubt einen rationelleren Arbeitsablauf und minimiert die Gefahr der Dejustierung der metallenen Halte- und Bewegungselemente während der Kunststoffverarbeitung. Da in der vorliegenden Arbeit die Anteigmethode angewendet wurde, ist davon auszugehen, dass die hier ermittelten Festigkeitswerte 3 bis 10 % höher sind als die in der klinischen Praxis zu erwartenden Werte.

7.4 Ergebniskritik

7.4.1 Diskussion der Fluoridfreisetzung

Wie viele Fluoridionen freigesetzt werden müssen, um in vivo einen kariostatischen Effekt zu erzielen, ist nicht genau bekannt [85]. Sicher scheint, dass eine höhere Fluoridfreisetzung auch eine höhere kariesprophylaktische Wirkung hat [69]. EINWAG [58] gibt für eine optimale kariesprotektive Wirkung durch Fluoridionen bei systemischer Anwendung eine tägliche Dosis zwischen 1,0 und 1,5 mg Fluorid an. Dies deckt sich auch mit der Empfehlung der Deutschen Akademie für Kinder- und Jugendmedizin [16]. Sie empfiehlt 1,0 mg Fluorid pro Tag für Kinder die älter als sechs Jahre sind und denen keine weiteren Fluoridquellen zur Verfügung stehen.

In der vorliegenden Untersuchung hat Orthocryl® Plus[1] über die gesamten 36 Wochen der Wasserlagerung Fluorid abgegeben (Abb. 6-1). Nachdem die Prüfkörper in der ersten Woche in jeweils 10 ml deionisiertem Wasser[13] gelegen hatten, enthielt das Eluat 1,86 ppm Fluorid. Nach vier Wochen, das heißt nach weiterem dreimaligem Wasserwechsel, wurden 2,22 ppm Fluorid gemessen und nach acht Wochen waren es innerhalb einer Woche durchschnittlich 3,75 ppm Fluorid in den 10 ml Badlösung. Ab der 12. Woche ging die Fuoridfreisetzung langsam zurück, war aber in Woche 36 mit 0,5 ppm noch immer eindeutig messbar. Betrachtet man die Fluoridfreisetzungskinetik während des gesamten

Versuchszeitraumes, lässt diese vermuten, dass die Fluoridfreisetzung auch noch über einen längeren Zeitraum stattgefunden hätte. Dies lässt den Schluss zu, dass eine kieferorthopädische Apparatur aus Orthocryl® Plus[1] bis zum Ende ihres Einsatzes Fluoridionen abgibt. Die Abgabe von Fluoridionen in wässriger Umgebung über lange Zeit scheint der geringen Löslichkeit des CaF_2 geschuldet zu sein und hängt möglicherweise auch mit einer gewissen Gefügeauflockerung des Kunststoffes (so genannte Verwitterungsspalten) zusammen [155]. Für eine Gefügeauflockerung würde auch die trotz Fluoridabgabe nicht eingetretene Schrumpfung der Prüfkörper während des gesamten Versuchszeitraums sprechen.

Einen großen Einfluss auf die Messergebnisse haben mit Sicherheit das Lagermedium, die Lagerungstemperatur und die Art der Lagerung (stehende/fließende Flüssigkeit, Häufigkeit des Wasserwechsels). Darauf wurde schon in der Diskussion der Methode näher eingegangen (vgl. Kapitel 7.3.2).

ZITZ et al. [254] verglichen die Fluoridfreisetzung aus Kunststoffen denen AmF, NaF oder CaF_2 zugesetzt worden war und fanden heraus, dass sich das Fluorid aus dem CaF_2-haltigen Kunststoff im Vergleich am langsamsten löste. Die höchste Fluoridabgabe zeigte der NaF-haltige Kunststoff. Die Autoren vermuteten, dass Unterschiede in der Menge und der Dauer der Fluoridfreisetzung mit der relativen Löslichkeit der Fluoridverbindungen zusammenhängen. Die langsamere Freisetzung von Fluorid aus dem CaF_2-haltigen Kunststoff hat den Vorteil der Verfügbarkeit von Fluorid über einen längeren Zeitraum.

MIETHKE und NEWESELY [155] mischten Polymethylmethacrylat die anorganischen Fluoride NaF und CaF_2 in Konzentrationen bis zu 10 % bei. Es zeigte sich auch hier, dass das Fluorid aus NaF wesentlich rascher freigesetzt wurde als aus CaF_2 und dementsprechend das verfügbare Fluoriddepot viel schneller aufgebraucht ist. Auch sie begründeten dies mit der höheren Löslichkeit von NaF.

Die Menge an freigesetztem Fluorid erscheint relativ niedrig. Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass die Fluoridkonzentration in dem engen Spalt zwischen Kunststoffkörper und Zahnoberfläche höher sein wird. Die Löslichkeit von CaF_2 in Wasser beträgt 16 mg/l bei 20 °C. Das entspricht 16 ppm. In Gegenwart von Phosphationen und Proteinen auf der Zahnoberfläche löst es sich noch weniger. Allerdings sinkt bei abfallendem pH-Wert, der bei einer kariogenen Attacke gegeben ist, die Fluoridkonzentration deutlich unter die Löslichkeitsgrenze und CaF_2 wird gelöst. So werden Fluoridionen freigesetzt und können einer Demineralisation entgegenwirken. Die Erhöhung der Kalziumionenkonzentration wirkt gleichzeitig einer Demineralisation des Hydroxylapatits in der Zahnsubstanz entgegen [90]. Laut STÖSSER [215] kommt es bei einer Konzentration von 2 ppm Fluorid in der Plaque zu einer 50%igen Hemmung der Demineralisation der Schmelzes auch unter sauren Bedingungen [215]. Ab einer Speichelfluoridkonzentration von 0,1 ppm kommt es zu einer Förderung der Remineralisation [93].

Die Oberfläche der hier getesteten Prüfkörper war viel kleiner als die der Appa-

raturen, die klinisch zum Einsatz kommen. Durch eine größere Oberfläche kann auch mehr Fluorid freigesetzt werden.

Beim Tragen von kieferorthopädischen Apparaturen mit 10 % CaF_2 käme es also zu einer langzeitigen lokalen Verfügbarkeit des Fluorids in geringen Dosen und daraus folgend einer Begünstigung der Remineralisierung [21,155,164]. Allerdings wird Fluorid durch den Speichel auch ständig wieder abtransportiert. So ist davon auszugehen, dass das Fluorid aus dem CaF_2-haltigen Orthocryl® Plus[1] vorrangig an den Schmelzoberflächen kariespräventiv wirken kann, an denen die kieferorthopädische Platte dem Zahn direkt anliegt.

Dies bestätigten auch JOST-BRINKMANN et al. [105] in ihrer In-vivo-Studie. Sie bestimmten die Fluoridkonzentrationen im oberflächlichen Schmelz von Milchzähnen kieferorthopädisch behandelter Kinder. Sie kamen zu dem Ergebnis, dass der Fluoridgehalt der oralen Zahnflächen, die dem Kunststoff aus Orthocryl®Plus[1] direkt anlagen, signifikant höher war als der Fluoridgehalt der Milchzähne, die gar keinen Kontakt mit einem kieferorthopädischen Gerät gehabt hatten, sowie der Zahnflächen, die in Kontakt zu Geräten aus konventionellem Orthocryl® gestanden hatten. Die aus Orthocryl® Plus[1] freigesetzten Fluoridionen führten demnach nur an den Zahnflächen zu einer Erhöhung der Fluoridkonzentrationen, die dem Orthocryl® Plus[1] unmittelbar anlagen.

Da es sich gerade an diesen Zahnflächen, die den kieferorthopädischen Apparaturen direkt anliegen, um zusätzlich entstandene Plaqueretentionsnischen handelt, scheint der Einsatz von Kunststoffen mit CaF_2-Zusatz sinnvoll.

Die Gefahr einer Überdosierung ist nicht vorhanden. Die höchste mittlere Fluoridfreisetzung nach 8 Wochen Wasserlagerung von 3,75 ppm entspricht einer Konzentration von 3,75 mg/l. Diese ist nach einer Woche Auslaugung erreicht. Die akute letale Intoxikation ist erst bei der Aufnahme von 32 bis 64 mg/kg Körpergewicht erreicht. Skelettfluorosen können entstehen, wenn über Jahre 8 bis 10 mg/Tag aufgenommen werden [217].

7.4.2 Diskussion des Dimensionsverhaltens

Während der Wasserlagerung kam es anfänglich zu einer geringfügigen Expansion der Prüfkörper um etwa 0,35 %. Nach 8 Wochen hatte sich jedoch ein Gleichgewicht eingestellt und die Länge der Prüfkörper blieb nahezu unverändert (Abb. 6-2). Es handelt sich hierbei um die zu erwartende Expansion, zu der es bei der Lagerung von Kunststoffen in wässrigen Medien kommt [161]. Wassermoleküle diffundieren in den Kunststoff und drücken die Makromoleküle auseinander. Je höher dabei der Gehalt an Restmonomer im Kunststoff ist, desto größer ist die Wasseraufnahme [51]. Ab einem bestimmten Sättigungsgrad stellt sich ein Diffusionsgleichgewicht ein, wobei das Bestreben der Wassermoleküle in das Polymernetz einzudringen, gleich groß dem ist, es wieder zu verlassen [108]. Laut SIDERIDOU et al. [210] benötigen Autopolymerisate etwa 7 Tage, bis die Wasseraufnahme und die daraus resultierende

Quellung abgeschlossen ist.

DIXON et al. [50] untersuchten die lineare Dimensionsstabilität mehrerer Prothesenkunststoffe während 90 Tagen Wasserlagerung. Dabei erreichte der Kunststoff Triad erst nach 60 Tagen mit 0,35 % seine maximale Expansion, was mit den Ergebnissen in der vorliegenden Arbeit vergleichbar ist. Die Dimensionsänderungen aller von DIXON et al. [50] untersuchten Prothesenkunststoffe lagen zwischen -0,17 % und +0,35 %. Die Schrumpfung des Kunststoffes Accelar 20 um 0,17 % nach 30 Tagen Wasserlagerung ist möglicherweise durch die Langzeitschrumpfung zu erklären, die auf die initial am größten ausfallende Polymerisationsschrumpfung folgt [13]. Sie beruht darauf, dass die Monomermoleküle kovalente Bindungen eingehen und sich dadurch der Atomabstand verringert. Der Vorgang endet erst, wenn keine reaktionsfähigen Doppelbindungen mehr vorhanden sind [111]. Die Volumenabnahme kann jedoch auch durch den Löslichkeitseffekt verursacht worden sein, der sich als oberflächlicher Substanzverlust infolge der Flüssigkeitseinwirkung darstellt [160]. Infolge polarer oder apolarer Wechselwirkungen schieben sich die Teilchen des „Lösungsmittels“ zwischen die des Festkörpers und lösen die äußeren Schichten aus dem Gitterverband. Weiterhin wird vermutet, dass es sich bei den gelösten Bestandteilen um ungebundenes Monomer handelt [13]. Grund für die Schrumpfung von Accelar 20 könnte somit ein erhöhter Restmonomergehalt gewesen sein.

DIXON et al. [50] hielten sowohl die Expansion als auch die Schrumpfung der

Kunststoffproben für so gering, dass sie klinisch nicht relevant sind.

Orthocryl® Plus[1] zeigt trotz Fluoridfreisetzung über 36 Wochen keine klinisch relevanten Veränderungen der linearen Dimension. Das bedeutet, dass es zu keinem Verlust der anfänglichen Passgenauigkeit von herausnehmbaren kieferorthopädischen Apparaturen aus Orthocryl® Plus[1] während längerer Tragedauer kommt. Möglicherweise kommt es zudem durch eine Gefügeauflockerung zu einer Oberflächenvergrößerung, womit eine Fluoridfreisetzung aus tieferen Schichten begünstigt werden würde.

7.4.3 Diskussion der Oberflächeneigenschaften

Die Ergebnisse der Profilometrie zeigen, dass sich die Oberflächenmorphologie von Orthocryl® Plus[1] während der 36-wöchigen Wasserlagerung nicht signifikant verändert hat. So lag der Mittenrauwert R_a während des gesamten Versuchszeitraums zwischen 1,20 µm und 1,50 µm. Die mittlere maximale Rautiefe R_{max} erreichte Werte von 11,75 µm bis 13,39 µm, die gemittelte Rautiefe R_z 8,70 µm bis 9,50 µm, die maximale Rautiefe R_t 12,59 µm bis 14,30 µm und der Mittenrauwert R_q 1,72 µm bis 1,91 µm (Abb. 6-3 bis 6-7).

JOST-BRINKMANN [104] untersuchte unter anderem die Oberflächenrauigkeit von Zementen, Kompomeren und Kompositen vor und nach der Bestrahlung mit Pulver-Wasser-Strahlgeräten. Der Mittenrauwert R_a der unbestrahlten Proben

lag zwischen 0,16 µm und 2,01 µm, die gemittelte Rautiefe R_z zwischen 1,17 µm und 11,5 µm.

TSCHERNIN [232] untersuchte die Oberflächeneigenschaften von verschiedenen polierten und geschliffenen Zahnrestaurationsmaterialien. Darunter waren Komposite, Kompomere, ein Glasionomerzement, Amalgam und eine hochgoldhaltige Legierung. Der arithmetische Mittenrauwert R_a der geschliffenen Proben lag im Durchschnitt bei 0,3 µm bis 0,5 µm. Das einzige Material, das sich in der Rauigkeit stark von den anderen unterschied, war der Glasionomerzement Ketac Molar mit einem R_a-Wert von 1,1 µm. Bei der gemittelten Rautiefe R_z lagen die meisten Werte zwischen etwa 1,6 µm und 3,0 µm. Mit 8,5 µm erreichte Ketac Molar die höchste gemittelte Rautiefe. Die Mittelwerte für die maximale Rautiefe R_{max} erreichten 1,7 µm bis 3,0 µm. Ausnahme mit einer maximalen Rautiefe von 16,3 µm war Ketac Molar.

In einer Arbeit von GONSER et al. [79] über die durch Zahnbürstenreinigung hervorgerufenen Oberflächenveränderungen bei Prothesenkunststoffen bei der die Putz- bzw. Testbedingungen einen Gebrauchszeitraum von ungefähr zwei Jahren nachbildeten, wurden mittlere Rauheiten R_a im Bereich von etwa 4 µm für Behandlungen mit Colgate Sensitive und von 2 µm für Behandlungen mit blend-a-med Complete Plus extra frisch gemessen.

Der Wert, bei dem laut ZISSIS et al. [253] die Adhärenz von Plaque nicht mehr nachgewiesen werden konnte, liegt bei einer Rauigkeit R_a von unter 0,2 µm. Dieser ist jedoch nur durch eine Hochglanzpolitur zu erreichen, die in der vor-

liegenden Arbeit nicht durchgeführt wurde.

Daraus, dass die in vorliegender Arbeit ermittelten Werte der Prüfkörper aus Orthocryl® Plus[1] auch nach 36 Wochen Wasserlagerung deutlich niedriger waren, als in oben genannten Studien und sich über den gesamten Versuchszeitraum kaum veränderten, kann man schließen, dass es zu keiner nennenswerten Aufrauung der Oberfläche durch das Austreten von CaF_2 aus dem Kunststoff kommt. Dies gilt zumindest für den durch die hier verwendete Messmethode der mechanischen Profilometrie limitierten Auflösungsbereich.

Da der verwendete Taster FRW 750 mit einer 90° Diamantspitze mit einem Spitzenradius von 10 µm arbeitet, war es nicht möglich, Gefügeauflockerungen zu erfassen, die kleiner sind als 5 µm. Bedenkt man die Durchschnittsgröße eines Atoms von etwa 0,0001 µm, bedeutet das, dass das Herauslösen einzelner Kalziumfluoridmoleküle durch die hier gewählte Bestimmung der Oberflächenrauheit nicht zu erfassen war.

Es ist möglich, dass diese nicht nur aus den Oberflächenschichten sondern auch durch Risse und Spalten aus tieferen Schichten ausgetreten sind.

Dies vermuteten auch MIETHKE und NEWESELY [155]. Sie gehen in Ihrer Studie davon aus, dass eine mögliche Verarmung an Fluoridionen in den Oberflächenschichten von Kunststoff sogenannte Verwitterungsspalten erzeugt, welche die Diffusion von Fluorid aus tieferen Schichten begünstigen. Bruchflächenpräparate von Orthocryl® mit 10 % CaF_2, die vor und nach Auslaugung von Fluorid elektronenmikroskopisch untersucht wurden, zeigten eine Gefüge-

lockerung.

7.4.4 Diskussion der mechanischen Eigenschaften

7.4.4.1 Biegefestigkeit

DIN EN ISO 20795-2 für kieferorthopädische Kunststoffe [49] fordert eine minimale Biegefestigkeit von polymerisiertem Kunststoff beim Bruch von 50 MPa. Die Ergebnisse der hier vorliegenden Arbeit liegen mit einer größten mittleren Biegefestigkeit von 90 MPa nach einer Woche Wasserlagerung und der niedrigsten mittleren Biegefestigkeit von 81 MPa nach 20 Wochen über den gesamten Versuchszeitraum deutlich über 50 MPa (Abb. 6-9). Somit übererfüllt Orthocryl® Plus[1] die festgelegten Anforderungen über die gesamte Studiendauer. Mit Ausnahme der Biegefestigkeitswerte nach einer und nach vier Wochen Wasserlagerung, die im Mittel von 90 MPa auf 82 MPa gesunken sind, kam es in der Folge während der gesamten 36 Wochen zu keiner signifikanten Veränderung der Bruchfestigkeit. Die Festigkeit von Orthocryl® Plus[1] wird also durch das In-Lösung-Gehen von Fluorid nicht beeinflusst.

Zu ähnlichen Ergebnissen kamen auch ZITZ et al. [254]. Sie verglichen die Biegesteifigkeit von Kunststoffen, die entweder NaF, AmF oder CaF_2 enthielten, vor und nach Spülung und Lagerung in künstlichem Speichel. Die Tests wurden

erst beendet, als im Eluat nur noch weniger als 0,01 ppm Fluorid nachgewiesen werden konnte. Sie kamen zu dem Ergebnis, dass sich die Biegesteifigkeit von Kunststoffen durch alle Fluorid enthaltenden Verbindungen (CaF_2, NaF, AmF) durch die Lagerung in künstlichem Speichel nicht spürbar ändert. Allerdings waren die dem Kunststoff zugesetzten Fluoridmengen mit maximal 2,27 % NaF deutlich niedriger, als in der vorliegenden Arbeit.

MIETHKE et al. [155] ermittelten in ihrer Arbeit über den kieferorthopädischen Kunststoff Orthocryl® mit 10 % CaF_2 eine Biegefestigkeit, die im Mittel bei 80 MPa lag.

Der Vergleich zu PMMA-Kunststoffen ohne Fluoridzusatz [171,195] zeigt, dass ein Fluoridzusatz keine Verschlechterung der Biegefestigkeit nach sich zu ziehen scheint.

So untersuchten ROSSIWALL et al. [195] unter anderem die Biegefestigkeit von kieferorthopädischen Kaltpolymerisaten. Diese wurden nach der Anteig- und Streumethode verarbeitet und in verschiedenen Hohlformen unter Wasser oder Luft bei unterschiedlichen Druck-, Temperatur- und Zeitvorgaben polymerisiert. Die Biegefestigkeit von Orthocryl® lag zwischen 76 MPa und 100 MPa. Allerdings wurden die Werkstoffprüfungen, anders als in der vorliegenden Studie, gemäß DIN 53435 [45] durchgeführt.

OTTL et al. [171] bestimmten in einer vergleichenden werkstoffkundlichen Untersuchung von licht-, heiß- und autopolymerisierenden Kunststoffen auch die Biegefestigkeit von Orthocryl®. Die Durchführung der Messungen entsprach

den Anforderungen der DIN EN ISO 1567 [48] und damit der der vorliegenden Arbeit. Der Mittelwert lag bei 45,2 MPa und somit sogar deutlich unter den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit.

7.4.4.2 Biegemodul

Laut DIN EN ISO 20795-2 [49] soll der Biegemodul eines kieferorthopädischen Kunststoffes mindestens 1.500 MPa betragen. Der Biegemodul von Orthocryl® Plus[1] liegt während der 36-wöchigen Wasserlagerung mit Werten von durchschnittlich 2.863 MPa bis 3.263 MPa stets deutlich über dem geforderten Minimalwert (Abb. 6-8).

Vergleicht man diese Ergebnisse mit den Ergebnissen anderer Arbeiten [126, 171,175], kann man feststellen, dass der Fluoridzusatz keine Verringerung des Biegemoduls zu verursachen scheint.

So fanden OTTL et al. [171] für Orthocryl® einen Biegemodul von 1.666 MPa.

Bei Untersuchungen von LASSILA et al. [126] lag der Biegemodul des getesteten Prothesenbasiskunststoffes Alldent Sinomer bei 2.730 MPa.

PFEIFFER et al. [175] ermittelten in ihrer Arbeit über hypoallergene Prothesenbasiskunststoffe einen mittleren Biegemodul von 1.720 MPa (Sinomer) bis 2.100 MPa (Microbase).

7.4.4.3 Durchbiegung bei 15 N und 50 N

Die Durchbiegung bei einer Belastung von 15 N wurde während der 36 Wochen Wasserlagerung 10-mal im 3-Punkt-Biegeversuch ermittelt. Mit einem Mittelwert von 0,35 mm wurde die höchste Durchbiegung nach 12 Wochen ermittelt; nach 36 Wochen Wasserlagerung betrug die Durchbiegung bei 15 N Last nur 0,31 mm (Abb. 6-10).

Auch bei einer Belastung mit 50 N schwankte die Durchbiegung im Untersuchungszeitraum nur gering: maximal 1,48 mm (Mittelwert) nach 20 Wochen und minimal 1,33 mm (Mittelwert) nach 36 Wochen (Abb.6-11). Das lässt den Schluss zu, dass der Zusatz von 10 % CaF_2 zum Kunststoff auch in Bezug auf die Durchbiegung unter Last die werkstoffkundlichen Eigenschaften in einem Zeitraum von 36 Wochen und zwischenzeitlicher Freisetzung von CaF_2 nicht negativ beeinflusst.

JOST-BRINKMANN et al. [106] untersuchten den Einfluss von Farbstoffen, Glitter und Kalziumfluorid unter anderem auf die Biege- und Brucheigenschaften von kieferorthopädischen PMMA-Kunststoffen. Der Versuchsaufbau entsprach der ISO-Norm 1567 [48], ist also vergleichbar mit der vorliegenden Arbeit. Bei der Durchbiegung unter 15 N Belastung wurden Werte von etwa 0,75 mm bis 0,95 mm ermittelt. Die Durchbiegung ist somit deutlich größer als in der vorliegenden Arbeit. Bei 50 N Belastung lagen die Ergebnisse mit einer Durchbiegung von etwa 2,5 mm bis 3,8 mm ebenfalls deutlich über denen in der

vorliegenden Arbeit.

Da die Biege- und Brucheigenschaften unter anderem entscheidend von der Form des Prüfkörpers beeinflusst werden [207], hängen die unterschiedlichen Ergebnisse möglicherweise mit der ungleichen Prüfkörperhöhe zusammen. Diese betrug in der Studie von JOST-BRINKMANN et al. [106] 4,5 mm, in vorliegender Untersuchung nur 3,3 mm.

8 Ausführliche Zusammenfassungen

8.1 Ausführliche Zusammenfassung

Durch das Tragen von kieferorthopädischer Apparaturen werden zusätzliche Plaqueretentionsnischen geschaffen, so dass sich während der Behandlung das Kariesrisiko erhöht [75,87,158,177]. Um der Gefahr des Entstehens von Demineralisationen oder kariösen Defekten in dieser Zeit entgegenzuwirken, ist neben einer angepassten Mundhygiene und Ernährung besonderes Augenmerk auf Fluoridierungsmaßnahmen zu richten [58,59,136].

Zu diesem Zweck entwickelten MIETHKE und NEWESELY [155] einen PMMA-Kunststoff mit 10 % Kalziumfluorid, der unter dem Namen Orthocryl® Plus[1] vermarktet wurde.

Ziel dieser In-vitro-Untersuchung war die Bestimmung und Beurteilung der Fluoridfreisetzung, des Biege- und Bruchverhaltens, der linearen Dimensionsstabilität sowie der Oberflächenstruktur von Orthocryl® Plus[1] mit während 36 Wochen Lagerung in deionisiertem Wasser[13].

Untersucht wurden 200 Prüfkörper (64,0 mm Länge, 10,0 mm Breite, 3,3 mm Höhe), die in Anlehnung an DIN EN ISO 20795-2 [49] hergestellt wurden.

Nach Längenmessung aller Proben mit einem Messschieber[15], wurden sie in

jeweils 10 ml deionisiertem Wasser[13] gelagert, das einmal wöchentlich erneuert wurde.

Nach sieben Tagen wurden die ersten 20 Proben entnommen und die Fluoridkonzentration im Eluat mithilfe einer ionensensitiven Elektrode[16] bestimmt. Die Abmessungen wurden erneut bestimmt und mittels Tastschnittmessverfahren wurden die maximale Rautiefe R_{max}, die gemittelte Rautiefe R_z, der Mittenrauwert R_a, die maximale Rautiefe R_t sowie der Mittenrauwert R_q bestimmt. Zur Messung der Festigkeitswerte (Biegefestigkeit, Biegemodul sowie die Durchbiegung bei 15 N und 50 N) wurde mittels einer Universalprüfmaschine der Dreipunkt-Biegeversuche gemäß DIN EN ISO 20795-2 [49] durchgeführt.

Es folgten die vorstehend genannten Versuche an jeweils weiteren 20 Prüfkörpern vier Wochen nach Beginn der Untersuchungen und anschließend monatlich bis zur 36. Woche.

Nach einer anfänglichen Steigerung der Fluoridfreisetzung (Konzentration im Eluat), die in der 8. Woche mit 3,8 ppm ihr Maximum erreichte, fiel diese danach zwar wieder, betrug aber auch in der 36. Woche noch 0,5 ppm. Die Kurve der ermittelten Fluoridwerte gegen die Zeit lässt vermuten, dass noch über einen längeren Zeitraum Fluoridionen freigesetzt worden wären. Es ist davon auszugehen, dass kieferorthopädische Apparaturen aus Orthocryl® Plus[1] bis zum Ende ihrer Tragezeit Fluoridionen - wenn auch in abnehmender Menge - abgeben.

Während der 36 Wochen Wasserlagerung kam es anfänglich zu einer geringfügigen Expansion der Prüfkörper um etwa 0,35 %. Ab der 8. Woche blieb die Länge der Prüfkörper blieb nahezu unverändert.

Die Ergebnisse der Profilometrie zeigen, dass sich die Oberflächenmorphologie von Orthocryl® Plus[1] während der 36 Wochen Wasserlagerung nicht signifikant verändert hat. So lag der Mittenrauwert R_a während des gesamten Versuchszeitraums zwischen 1,20 µm und 1,50 µm. Die mittlere maximale Rautiefe R_{max} erreichte Werte zwischen 11,75 µm und 13,39 µm, die gemittelte Rautiefe R_z 8,70 µm bis 9,50 µm, die maximale Rautiefe R_t 12,59 µm bis 14,30 µm und der Mittenrauwert R_q 1,72 µm bis 1,91 µm.

DIN EN ISO 20795-2 für kieferorthopädische Kunststoffe [49] definiert Anforderungen an die Biegefestigkeit von polymerisiertem Kunststoff. Diese muss beim Bruch mindestens 50 MPa betragen. Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit liegen mit einer höchsten mittleren Biegefestigkeit von 90 MPa nach einer Woche Wasserlagerung und der niedrigsten mittleren Biegefestigkeit von 81 MPa nach 20 Wochen über den gesamten Versuchszeitraum deutlich über 50 MPa. Somit erfüllt Orthocryl® Plus[1] die festgelegten Anforderungen über die gesamte Studiendauer.

Der Biegemodul von Orthocryl® Plus[1] liegt während der 36 Wochen Wasserlagerung mit Werten von durchschnittlich 2.863 MPa (28. Woche) bis 3.202 MPa (1. Woche) stets deutlich über dem in DIN EN ISO 20795-2 [49] geforderten

Minimalwert von 1.500 MPa für verarbeitete kieferorthopädische Kunststoffe. Die Durchbiegung bei einer Belastung von 15 N wurde während der 36 Wochen Wasserlagerung 10-mal im 3-Punkt-Biegeversuch ermittelt. Der Mittelwert lag zwischen 0,31 mm und 0,35 mm nach 12 Wochen. Auch bei einer Belastung mit 50 N änderte sich die Durchbiegung im Untersuchungszeitraum kaum (im Mittel 1,48 mm nach 20 Wochen und 1,33 mm nach 36 Wochen).
Während des gesamten Versuchszeitraumes erfüllte Orthocryl® Plus[1] gemäß DIN EN ISO 20795-2 [49] die mechanischen Anforderungen.

Da sich einerseits die Materialeigenschaften durch den Zusatz von CaF_2 nicht klinisch relevant verändern [106] und die Fluoridfreisetzung über einen langen Zeitraum erfolgt, ist der Einsatz kieferorthopädischer Geräte aus Orthocryl® Plus[1] eine sinnvolle lokale Fluoridierungsmaßnahme während einer kieferorthopädischen Behandlung und Retention.

8.2 Detailed summary

The tendency to create plaque retention niches is increased by wearing orthodontic appliances, so that the risk of caries [75,87,158,177] rises too. Apart from a customized oral hygiene and nutrition, we have to focus the attention on fluoridation measures to reduce the risk of higher demineralization or more

carious defects during this period [58,59,136].

For this reason MIETHKE and NEWESELY [155] developed a calcium fluoride system which was marketed under the name Orthocryl® Plus[1]. This PMMA resin contains 10 % CaF_2.

The intention of this in vitro study was to determine and evaluate the fluoride release, the bending and fracture behavior, the linear dimensional stability and surface structure of Orthocryl® Plus[1] containing 10 % CaF_2 during a period of 36 weeks stored in double-distilled water.

We examined 200 specimens (64.0 mm length, 10.0 mm width, 3.3 mm height).

After measuring the length of all samples with a Messschieber[15], they were stored in 10 ml of deionized water which was renewed once a week.

After seven days, the first 20 samples were taken off and the fluoride concentration in the eluate was determined by using an fluoride-ion-sensitive electrode[16]. Than the linear contraction was measured and the maximum roughness (R_{max}), the average roughness (R_z), the roughness (R_a), the maximum roughness (R_t) and roughness (R_q) were determined by profilometric measuring procedure. To measure the strength values (flexural strength, flexural modulus, and deflection at 15 N and 50 N) a three-point bending test according to DIN EN ISO 20795-2 [49] was made with an universal testing machine.

The above-described tests were repeated four weeks after the beginning of the study and than monthly again, always with another 20 specimens. All 200 samples were analyzed and the results were evaluated and compared after a periode of 36 weeks .

After fluoride release (concentration in the eluate) reaches its maximum of 3.8 ppm in the eighth week, it subsequently fell, but was still 0.5 ppm in the 36th week. The graph of fluoride concentration versus the time suggests, that fluoride ions would have been released still for a long time. Considering the relatively short period orthodontic appliances are usually worn, we can assume that fluoride ions are released until the end, even if the quantity is low. According to that, a caries-preventive effect can be reached especially on the caries predilection sites of orthodontic appliances.

During the 36 weeks of water storage, initially there was a minor expansion of the specimens of approximately 0.35%. After 8 weeks, however, an equilibrium was reached and the length of the specimens remained almost unchanged.

The results of profilometric examination show us, that the surface morphology of Orthocryl® Plus[1] does not change significantly during the 36 weeks of water storage. Thus, the value of the roughness (R_a) was between 1.20 µm and 1.50 µm during the entire experimental period. The average value of maximum

roughness (R_{max}) was 11.75 µm to 13.39 µm, of roughness (R_z) 8.70 µm to 9.50 µm, of maximum roughness (R_t) 12.59 µm to 14.30 µm and of the middle-roughness (R_q) 1.72 µm to 1.91 µm.

The DIN EN ISO 20795-2 for orthodontic acrylics [49] requires a flexural strength of polymerized resin not less than 50 MPa in the moment of the fracture. The results of the tests are ranging between 90 MPa after one week water storage as highest and 81 MPa after 20 weeks as lowest medium flexural-strength, over the entire test period significantly higher than 50 MPa. Therefore Orthocryl® Plus[1] exceeded the specified requirements over the entire study period.

The flexural modulus of Orthocryl® Plus[1] averages during the 36 weeks water storage between 2.863 MPa and 3.263 MPa, which was always significantly higher than 1.500 MPa, required as evaluation criterion in DIN EN ISO 20795-2 [49] for processed orthodontic acrylics.

The deflection at a load of 15 N was determined 10 times during 36 weeks storage in water in 3-point bending test. With an average maximum value of 0.35 mm after 12 weeks and a minimum value of 0.31 mm after 36 weeks water storage, there were no significant changes of deflection during the study. Even with a load of 50 N fluctuated the deflection between a mean maximum value of 1.48 mm after 20 weeks and a mean minimum value of 1.33 mm after 36 weeks by only a small amount. This suggests that the addition of 10 % CaF_2 in the

resin does not change negative the material science properties after an extended wearing time and associated release of CaF_2 in relation to the deflection under load.

Over the entire test period there was no degradation of the mechanical properties considering to DIN EN ISO 20795-2 [49]. Even after 36 weeks of water storage and continuous release of fluoride ions, the mechanical properties of Orthocryl® Plus[1] exceeded the minimum requirements of the standard.

As the material properties do not change by the addition of CaF_2 [106] and the fluoride release remains stable over a long period as well as the local effect of fluoride ion is demonstrated [105], the use of orthodontic appliances made of Orthocryl® Plus[1] is a useful support of the local fluoridation during a orthodontic treatment.

9 Literaturverzeichnis

1. Allmark C, Green HP, Linney AD, Wills DJ, Picton DCA. A community study of fluoride tablets for school children in Portsmouth. Br Dent J 1982;153:426-30.

2. Ammari AB, Bloch-Zupan A, Ashley PF. Systematic review of studies comparing the anti-caries efficacy of children's toothpaste containing 600 ppm of fluoride or less with high fluoride toothpastes of 1,000 ppm or above. Caries Res 2003;37:85-92.

3. Angmar-Månson B, Whitford GM. Plasma fluoride levels and enamel fluorosis in the rat. Caries Res 1982;16:334-9.

4. Arends J, Christoffersen J. Nature and role of loosely bound fluoride in dental caries. J Dent Res 1990;69 (Spec Iss):601-5.

5. Arends J, Gelhard TBF. In-vivo-Remineralisation menschlichen Schmelzes. Oralprophylaxe 1983;5:21-7.

6. Arends J, ten Bosch JJ. In vivo de- and remineralization of dental enamel. In: Leach SA (Hrsg), Factors relating to demineralization and remineralzation of teeth. Oxford-Washington D.C.: IRL Press, 1986:pp1-11.

7. Arends J, Ten Cate JM. Tooth enamel remineralisation. J Crystal Growth 1981;53:135-47.

8. Arnold FA, Likens RC, Russel AL, Scot DB. Fifteenth year of the Grand Rapids fluoridation study. J Am Dent Assoc 1962;65:780-85.

9. Attin T, Schneider K, Buchalla W. Abrasionsstabilität des KOH-löslichen Fluorids auf Schmelz nach Applikation verschiedener Fluoridierungsmittel. Dtsch Zahnärztl Z 2001;56:706-11.

10. Attin T, Buchalla W, Siewert C, Hellwig E. Fluoride release/uptake of polyacid-modified resin composites (compomeres) in neutral and acidic buffer solutions. J Oral Rehabil 1999;26:388-93.

11. Attin T, Kielbassa AM, Plogmann S, Hellwig E. Fluoridfreisetzung aus Kompomeren im sauren und neutralen Milieu. Dtsch Zahnärztl Z 1996;51:675-8.

12. Bala O, Uctasli M, Can H, Türköz E, Can M. Fluoride release from various restorative materials. J Nihon Univ Sch Dent 1997;39:123-7.

13. Bath P, Soltesz U, Klaiber B. Polymerisatinsschrumpfung, Wasseraufnahme und Quellung von ausgewählten Komposit-Füllungsmaterialien. Freiburg: Fraunhofer Institut für Werkzeugmechanik, 1985.

14. Bedienungsanleitung für ORION 9609, Colora Messtechnik GmbH, Lorch, Deutschland,1988.

15. Benson PE, Parkin N, Millett DT, Dyer FE, Vine S, Shah A. Fluorides for the prevention of white spots on teeth during fixed brace treatment. The Cochrane Library 2008;Vol.2.

16. Bergmann KE. Empfehlungen der Deutschen Akademie für Kinder- und Jugendmedizin zur Prävention der Milchzahnkaries. Monatsschr Kinderheilk 2007;155:544-8.

17. Besserer D, Schütte U. Dreipunkt- und Vierpunktanordnung für die Bestimmung von E-Modul und Biegefestigkeit an Kunststoffen. Bielefeld, FH: Diplomarbeit 1975.

18. Betriebsanleitung Nr. 6800601 für Perthometer S6P. Göttingen: Feinprüf Perthen GmbH.

19. Bishara SE, Chan DC, Swift EJ. Evaluation of fluorde releasefrom an orthodontic bonding system. Am J Orthod Dentofacial Orthop 1991;100:106-9.

20. Björnström H, Naji S, Simic L, Sjöström I, Twetman S. Fluoride levels in salvia and dental plaque after consumption of snacks prepared with fluoridated salt. Eur J Pediat Dentistry 2004;5:41-5.

21. Borsboom PCF, Mei HC, Arends J. Enamel lesion formation with and without 0,12 ppm F in solution. Caries Res 1985;19:396-402.

22. Bossmann M, Wilhelm S, Schmitt B. Skript zum Fachpraktikum „Oberflächenmesstechnik“. Saarbrücken: Universität des Saarlandes, Lehrstuhl für Fertigungstechnik (CAM), 2007.

23. Bourgeois DM, Roland E, Desfontaine J. Caries prevalence 1987-1998 in 12-year-olds in France. Int Dent J 2004;54:193-200.

24. Braga MM, Mendes FM, Martignon S, Ricketts DN, Ekstrand KR. In vitro comparison of Nyvad's system and ICDAS-II with lesion activity assessment for evaluation of severity and activity of occlusal caries lesions in primary teeth. Caries Res 2009;43:405-12.

25. Brunelle JA, Carlos JP. Recent Trends in Dental Caries in U.S. Children and the Effect of Water Fluoridation. J Dent Res 1990;69:723-7.

26. Buchalla W, Attin T, Schulte-Mönting J, Hellwig E. Fluoride uptake, retention, and remineralization efficacy of a highly concentrated fluoride solution on enamel lesions in situ. J Dent Res 2002;81:329-33.

27. Bunte H. Der Einfluß der Ausarbeitung mit verschiedenen rotierenden Instrumenten auf die Randqualität und Oberflächenmorphologie von zahnfarbigen lichthärtenden Restarationen. Berlin, HU: Zahnmed Diss 2001.

28. Cacciafesta V, Sfondrini M, Tagliani P, Klersy C. In-vitro fluoride release rates from 9 orthodontic bonding adhesives. Am J Orthod Dentofacial Orthop 2007; 132:656-62.

29. Cahen PM, Turlot JC, Frank RM, Obry-Musset AM. National survey of caries prevalence in 6-15-year old children in France. J Dent Res 1989;68:64-8.

30. Cahen PM, Obry-Musset AM, Grange D, Frank RM. Caries prevalence in 6- to 15-year-old French children based on the 1987 and 1991 national surveys. J Dent Res 1993;72:1581-7.

31. Christoffersen J, Christofferson MR, Kibalczyc W, Perdok WG. Kinetics of dissolution and growth of calcium fluoride and effects of phosphate. Acta Odontol Scand 1988;46:325-36.

32. Clarkson JJ, McLoughlin J. Role of fluoride in oral health promotion. Int Dent J 2000;50:119-28.

33. Clarkson JJ, Hardwick K, Barmes D, Richardson LM. International collaborative research on fluoride. J Dent Res 2000;79:893-904.

34. Cohen W, Wiltshire W, Dawes C, Lavelle C. Long-term in vitro fluoride release and re-release from orthodontic bonding materials containing fluoride. Am J Orthod Dentofacial Orthop 2003;124:571-6.

35. Cooley RL, McCourt JW. Fluoride-releasing removable appliances. Quintessence Int 1991;22:299-302.

36. Creanor SL, Carruthers LMC, Saunders WP, Strang R, Foye RH. Fluoride uptake and release characteristics of glass ionomer cements. Caries Res 1994;28:322-3.

37. Damen JJ, Buijs MJ, van Strijp AJ, ten Cate JM. In vitro fluoride uptake by intra-orally aged and contaminated glass ionomer cement. Caries Res 1999;33:88-90.

38. Dawes C, Weatherall JA. Kinetics of fluoride in oral fluids. J Dent Res 1990;69(Spec No):638-44.

39. de Crousaz P, Marthaler TM, Wiesner V, Bandi A, Steiner M, Robert A, Meyer R. Caries prevalance in children after 12 years of salt fluoridation in a Canton of Switzerland. Schweiz Monatsschr Zahnmed 1985;95:805-15.

40. de Liefde B, Herbison GP. Prevalence of developmental defects of enamel and dental caries in New Zealand children receiving differing fluoride supplementation. Community Dent Oral Epidemiol 1985;13:164-7.

41. Dean HT, Arnold FA, Elvove E. Domestic water and dental caries. V. Additional studies of the relation of fluoride domestic waters to dental caries experience in 4425 white children, aged 12 to 14 years, of 13 cities in 4 states. Public Health Rep 1942;57:1155-79.

42. Dean HT, Arnold FA, Jay P, Knutson JW. Studies on mass control of dental caries through fluoridation of the public water supply. Public Health Rep 1950;65:1403-8.

43. Dijkman AG, Schuthof J, Arends J. In vivo remineralization of plaque-induced initial enamel lesions—a microradiographic investigation. Caries Res 1986;20:202-8.

44. Dijkman GEHM, de Vries J, Lodding A, Arends J. Long-term fluoride release of visible light-activated composites in vitro: a correlation with in situ demineralization data. Caries Res 1993;27:117-23.

45. DIN Deutsches Institut für Normung e.V. Biegeversuch und Schlagbiegeversuch an Dynstat-Probekörpern (DIN Normblatt 53435). Berlin: Beuth, 1977.

46. DIN 4760. Gestaltabweichungen; Begriffe, Ordnungssystem. Berlin: Beuth, 1982.

47. DIN Deutsches Institut für Normung e.V. Geometrische Produktspezifikation (GPS) – Oberflächenbeschaffenheit: Tastschnittverfahren – Regeln und Verfahren für die Beurteilung der Oberflächenbeschaffenheit (DIN EN ISO 4288:1998-04). Berlin: Beuth, 1998.

48. DIN Deutsches Institut für Normung e.V. Zahnheilkunde – Prothesenkunststoffe (DIN EN ISO 1567). Berlin: Beuth, 2000.

49. DIN Deutsches Institut für Normung e.V. Zahnheilkunde – Kunststoffe – Teil 2: Kieferorthopädische Kunststoffe (ISO/DIS 20795-2:2008). Berlin: Beuth, 2008.

50. Dixon DL, Breeding LC, Ekstrand KG. Linear dimensional variability of three denture base resins after processing and in water storage. J Prosthet Dent 1992;68:196-200.

51. Dogan A, Bek B, Cevik NN, Usanmaz A. The effect of preparation conditions of acrylic denture base materials on the level of residual monomer, mechanical properties and water absorption. J Dent 1995;23:313-8.

52. Domke A, Großklaus R, Niemann B, Przyrembel H, Richter K, Schmidt E, Weißenborn A, Wörner B, Ziegenhagen R. Verwendung von Mineralstoffen in Lebensmitteln. Bundesinstitut für Risikobewertung - Toxikologische und ernährungsphysiologische Aspekte, Teil II. Berlin: BfR-Hausdruckerei Dahlem, 2004:241-50.

53. Driscoll WS, Heifetz SB, Brunelle JA. Caries-preventive effects of fluoride tablets in schoolchildren four years after discontinuation of treatments. J Am Dent Assoc 1981;103:878-81.

54. Duckworth RM, Morgan SN, Ingram GS, Page DJ. Oral fluoride reservoirs and their relationship to anticaries efficacy. In: Embery G, Rølla G, Clinical and Biological Aspects of Dentifrices. New York: Oxford University Press, 1992:pp91-194.

55. Eager JM. Denti di Chiaie (Chiaie teeth). Public Health Rep 1901;16:2576-7.

56. Egloff T. Bericht der Gesundheits- und Sozialkommission des Grossen Rates zum Anzug René Brigger betreffend Fluoridierung des Basler Trinkwassers. 26.2.2003.

57. Eichner K. Zahnärztliche Werkstoffe und ihre Verarbeitung, 5. Auflage. Heidelberg: Hanser, 1988:pp77-103.

58. Einwag J. Untersuchungen zur Pharmakokinetik von Fluorid nach lokaler Applikation. Berlin: Quintessenz, 1989.

59. Ekstrand J, Fejerskov O, Silverstone M. Fluoride in dentistry. Copenhagen: Munksgaard, 1988.

60. Endt M. Einfluss von Pulver-Wasser-Strahlgeräten auf die Fluoridfreisetzung von Komposit-Kunststoffen. Berlin: Zahnmed Diss 1998.

61. Epstein JB, van der Meij EH, Lunn R, Stevenson-Moore P. Effects of compliance with fluoride gel application on caries and caries risk in patients after radiation therapy for head and neck cancer. Oral Surg Oral Med Oral Pathol 1996;82:268-75.

62. Estúpiñan-Day SR, Baez R, Horowitz H, Warpeha R, Sutherland B, Thamer M. Salt fluoridation and dental caries in Jamaica. Community Dent Oral Epidemiol 2001;29:247-52.

63. Fabien V, Obry-Musset AM, Hedelin G, Cahen PM. Caries prevalence and salt fluoridation among 9-year-old schoolchildren in Strasbourg, France. Community Dent Oral Epidemiol 1996;24:408-11.

64. Fejerskov O, Richards A, Baelum V. Dose-response and dental fluorosis. In: Fejerskov O, Ekstrand J, Burt BA, Fluoride in Dentistry. Kopenhagen: Munksgaard, 1996:p153.

65. Fejerskov O, Thylstrup A, Larsen MJ. Rational use of fluorides in caries prevention. Acta Odontol Scand 1981;39:241-9.

66. Fejerskov O, Larsen MJ, Richards A, Baelum V. Dental tissue effects of fluoride. Adv Dent Res 1994;8:15-31.

67. Finger W. Begriffsbestimmungen der Werkstoffprüfung. In: Eichner K, Kappert HF (Hrsg), Zahnärztliche Werkstoffe und ihre Verarbeitung, Bd 1. Stuttgart: Thieme, 2005:pp385-97.

68. Forsman B. Early suppy of fluoride and enamel fluorosis. Scand J Dent Res 1977;85:22-30.

69. Forss H, Seppä L. Prevention of enamel demineralization adjacent to glass ionomer filling materials. Scand J Dent Res 1990;98:173-8.

70. Forsten L. Fluoride release of glass ionomers. J Esthet Dent 1994;6:216-22.

71. Forsten L, Paunio IK. Fluoride release by silicate cements and composite resin. Scand J Dent Res 1972;39:11-6.

72. Friedl K-H, Schmalz G, Hiller K-A. Flüssigkeitskulturen zur Prüfung der Wirkung zahnärztlicher Werkstoffe auf das Bakterienwachstum. Dtsch Zahnärztl Z 1992;47:826-31.

73. Friis-Hasché E, Bergmann J, Wenzel A, Thylstrup A, Möller-Petersen PE. Dental health status and attitudes to dentalcare in families participating in a Danish fluoride tablet program. Community Dent Oral Epidemiol 1984;12:303-7.

74. Fure S, Gahnberg L, Birkhed D. A comparison of four home-care fluoride programs on the caries incidence in the elderly. Gerodontology 1998;15:51-60.

75. Ghamrawy EE. Quantitative changes in dental plaque formation related to removable partial dentures. J Oral Rehabil 1976;3:115-20.

76. Glass RL. The first international conference of the declining prevalence of dental caries. J Dent Res 1982;61:1301-83.

77. Glenn FB. The rationale for the administration of a NaF tablet supplement during pregnancy and postnatally in a private practice setting. J Dent Child 1981;48:118-22.

78. Glockmann E, Gehroldt C, Triemer K. Freisetzung von Fluorid aus unterschiedlichen Glasionomerzementen. Dtsch Zahnärztl Z 1997;52:668-72.

79. Gonser F, Kiesow A, Sarembe S, Petzold M. Bewertung durch Zahnbürstenreinigung hervorgerufener Oberflächenveränderungen bei Prothesenkunststoffen. Dtsch Zahnärztl Z 2008;63:689-96.

80. Gülzow HJ, Farshi H. Die Zahngesundheit Hamburger Kindergartenkinder 1977-1998. Dtsch Zahnärztl Z 2000;55:770-3.

81. Gülzow HJ, Strübig W. Über die Notwendigkeit der kontinuierlichen Einnahme von Fluoridtabletten. Dtsch Zahnärztl Z 1984;39:512-4.

82. Gülzow HJ, Hellwig E, Hetzer G. Leitlinie „Fluoridierungsmaßnahmen“. Deutsche Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde, 2005.

83. Hamilton IR. Biochemical effects of fluoride on oral bacteria. J Dent Res 1990;69:660-7.

84. Hamilton IR, Bowden GHW. Fluoride effects on oral bacteria. In: Fejerskov O, Ekstrand J, Burt BA (Hrsg), Fluoride in Dentistry, ed 2. Copenhagen: Muksgaard, 1996:pp230-51.

85. Hamula W, Hamula DW, Brower K. Glass Ionomer Update. J Clin Orthod 1993;27:420-5.

86. Hedman J, Sjöman R, Sjöström I, Twetman S. Fluoride concentration in salvia after consumption of diner prepared with fluoridated salt. Caries Res 2006;40:158-62.

87. Heintze SD, Jost-Brinkmann P-G, Finke C, Miethke R-R. Oral Health for the Orthodontic Patient. Chicago, Berlin, London: Quintessenz, 1998.

88. Helfenstein U, Steiner M. Fluoride varnishes (Duraphat): a meta-analysis. Community Dent Oral Epidemiol 1994;22:1-5.

89. Hellwege K-D. Die Praxis der zahnmedizinischen Prophylaxe, 3. Auflage. Heidelberg: Hüthig GmbH, 1994.

90. Hellwig E. Kariesprophylaxe mit Fluoriden. Prophylaxedialog 1997;2:2-8.

91. Hellwig E, Hetzer G. Salzfluoridierung. Dtsch Zahnärztl Z 2002;56.

92. Hellwig E, Buchalla W, Attin T. Hängt die Wirksamkeit einer Zahnpasta von der Fluoridkonzentration ab? Oralprophylaxe 1999;Sonderheft: pp28-31.

93. Hellwig E, Klimek J, Attin T. Einführung in die Zahnerhaltung. Köln: Deutscher Zahnärzte Verlag, 2010.

94. Hellwig E, Schiffner U, Schulte A. S2k-Leitlinie „Fluoridierungsmaßnahmen zur Kariesprohylaxe“. AWMF-Register Nr. 083-0012013. Düsseldorf: AWMF, 2013.

95. Hellwig E, Klimek J, Schmidt HFM, Egerer R. Fluoride uptake in plaque covered enamel after treatment with the fluoride lacquer Duraphat. J Dent Res 1985;64:1080-3.

96. Hetzer G. Speisesalzfluoridierung – Ergebnisse, Erfahrungen, Anwendungsempfehlungen. Prophylaxe impuls 1997;3:110-6.

97. Hodge HC, Smith FA. Biological properties of inorganic fluorides. In: Simsons JH (ed.): Fluoride chemistry, Vol. 4. New York: Academic Press, 1965.

98. Hotz PR. Experimental secondary caries around amalgam, composite and glass ionomer cement fillings in human teeth. Schweiz Monatsschr Zahnheilkd 1979;89:965-86.

99. Hotz P, Gujer J, Stassianakis A. Influence of specimen shape, setting time and glassionomer type on the long-term fluoride release. J Dent Res (IADR Abstracts) 1996;75:70(Abstr.420).

100. Hügelmeyer T. Oberflächenveränderung von Zahnschmelz, Wurzelzement, Amalgam und Kunststoff nach Behandlung mit verschiedenen Reinigungsinstumenten. Quintessenz 1989;40:683-93.

101. Irigoyen ME, Sánchez-Hinojosa G. Changes in dental caries prevalence in 12-year-old students in the state of Mexico after 9 years of salt fluoridation. Caries Res 2000;34:303-7.

102. Jaroschek C. Das Ende des Biegemoduls. Zeitschrift Kunststofftechnik / J Plast Tech 2012;8:516-24.

103. Jones CM, Taylor GO, Whittle JG, Evans D, Trotter DP. Water fluoridation, tooth decay in 5 year olds, and sozial deprivation measured by the Jarman score: analysis of data from British dental surveys. Br Med J 1997;315:514-7.

104. Jost-Brinkmann P-G. Wirkungen und Nebenwirkungen von Pulver-Wasser-Strahlgeräten bei regelmäßiger Anwendung in der Orthodontie. Aachen: Mainz-Verlag, 1997.

105. Jost-Brinkmann P-G, Miethke R-R, Thole U, Wendland M. Der Fluoridgehalt oberflächlicher Schmelzschichten steigt an, wenn Patienten herausnehmbare kieferorthopädische Geräte aus Orthocryl-Plus tragen. Kieferorthop 1999;13:301-8.

106. Jost-Brinkmann P-G, Süßenberger U, Angeli-Schwarzott C, Miethke R-R. Der Einfluß von Farbstoffen, Glitter und Kalziumfluorid auf das Biege-, Bruch- und Kontraktionsverhalten von kieferorthopädischen PMMA-Kunststoffen. Kieferorthop 1996;10:39-40.

107. Kaiser D, Neumeister V, Stößer L, Hetzer G. Fluoridkonzentration im Speichel und in der Plaque nach Verzehr fluoridsalzhaltiger Speisen. Oralprophylaxe und Kinderzahnheilkunde 2006;26:110-4.

108. Kalachandra S, Wilson TW. Properties of composite tooth restorative materials. Biomaterials 1992;13:105-9.

109. Kanaya Y, Spooner P, Fox JL. Mechanistic studies on the bioavailibility of calcium fluoride for remineralization of dental enamel. Int J Pharmacol 1983;16:171-9.

110. Karlson P. Kurzes Lehrbuch der Biochemie für Mediziner und Naturwissenschaftler. Stuttgart: Thieme, 1984.

111. Kim Y, Kim CK, Cho BH, Son HH, Um CM, Kim OY. A new resin matrix for dental composite having low volumetric shrinkage. J Biomed Mater Res 2004;70:82-90.

112. Kleinen H. Fluoridabgabe aus Glasionomerzement nach Refluoridierung mit niedrig konzentrierten Fluoridlösungen. Hamburg: Zahnmed Diss, 2008.

113. Klement D, Siebert G. Quantification of the effect of fluoride on Streptococcus mutans NCTC 10449. Dtsch Zahnärztl Z 1985;40:1036-9.

114. Kneist S, Callaway A. Von Generalisten und Spezialisten: Die Rolle der Bakterien in der erweiterten ökologischen Plaquehypothese. ZMK 2013;9:548-59.

115. Koch G, Peterson LG, Kling E, Kling L. Effect of 250 and 1000 ppm fluoride dentifrice on caries. A three-year clinical study. Swed Dent J 1982;6:233-8.

116. König KG. Role of fluoride toothpaste in a caries-preventive strategy. Caries Res 1993;27:23-8.

117. Körber KH, Ludwig K. Maximale Kaukraft als Berechnungsfaktor zahntechnischer Konstruktionen. Dent Labor 1983;31:55-60.

118. Kühnisch J, Hickel R, Heinrich-Weltzien R. Kariesrisiko und Kariesaktivität. Quintessenz 2010;61:271-80.

119. Künzel W. Kinderstomatologie, 2. Auflage. Leipzig: J. A. Barth Verlag, 1988.

120. Künzel W. Caries decline in Deutschland: Eine Studie zur Entwicklung der Mundgesundheit. Heidelberg: Hüthig, 1997.

121. Künzel W, Fischer T. Rise and fall of caries prevalence in German towns with different F concentrations in drinking water. Caries Res 1997;31:166-73.

122. Lagerlöf F, Saxegaard E, Brakvoll P, Rølla G. Effects of inorganic orthophosphate and pyrophosphate on dissolution of calcium fluoride in water. J Dent Res 1988;67:447-9.

123. Lang R, Rosentritt M, Wenz C v, Behr M, Handel G. Farb- und Biegeverhalten von Prothesenbasismaterialien nach künstlicher UV-Alterung. Dtsch Zahnärztl Z 1999;54:277-80.

124. Larsen MJ. Chemical events during tooth dissolution. J Dent Res 1990;69:575-80.

125. Larsen MJ, Brunn C. In: Thylstrup A, Fejerskov O (Hrsg), Textbook of Cariologie, Kopenhagen: Munksgaard, 1986.

126. Lassila LV, Vallittu PK. Denture base polymer Alldent Sinomer: mechanical properties, water sorption and release of residual compounds. J Oral Rehabil 2001;28:607-13.

127. Leisentritt V. Vergleich der Fluoridfreisetzung aus drei fluoridhaltigen Kompositen und einem Glasionomerzement nach wiederholter wöchentlicher Applikation eines hochdosierten Fluoridgelees. Hamburg: Zahnmed Diss, 2005.

128. Lennon MA, Whelton H, O'Mullane D, Ekstrand J. Fluoride. World Health Organization, September 2002.

129. Levallois B, Fovet Y, Lapeyre L, Gal JY. In vitro release from restorative materials in water versus artificial saliva medium (SAGF). Dent Mater 1998;14:441-7.

130. Lima TJ, Ribeiro CCC, Tenuta LMA, Cury JA. Low-fluoride dentifrice and caries lesion control in children with different caries experience: A randomized clinical trial. Caries Res 2008;42:46-50.

131. Leverett DH, Adair SM, Vaughan BW, Proskin HM, Moss ME. Randomized clinical trial of the effect of prenatal fluoride supplements in preventing dental caries. Caries Res 1997;31:174-9.

132. Limeback H. A re-examination of the pre-eruptive and post-eruptive mechanism of the anti-caries effects of fluoride: is there any anti-caries benefit from swallowing fluoride? Community Dent Oral Epidemiol 1999;27:62-71.

133. Lynch RJM, Navada R, Walia R. Low-levels of fluoride in plaque and saliva and their effects on the demineralisation and remineralisation of enamel: role of fluoride toothpastes. Int Dent J 2004;54:304-9.

134. Manhart J. Charakterisierung direkter zahnärztlicher Füllungsmaterialien für den Seitenzahnbereich – Alternativen zum Amalgam? Quintessenz 2006;57:465-81.

135. Marinho VCC, Higgins JPT, Logan S, Sheiham A. Fluoride mouthrinses for preventing dental caries in children and adolescents (Cochrane Review). In: The Cochrane Library, Issue 3, 2003. Oxford: Update Software.

136. Marthaler TM. Aktueller Stand der Salzfluoridierung. 1. Teil: Kariesprophylaktische Wirksamkeit. Kariesprophylaxe 1982;4:111-4.

137. Marthaler TM. Salt fluoridation in Europe. Comparisons with Latin America. In: Geertman RM (ed) 8th World Salt Symposium. Amsterdam: Elsevier, 2000:pp1021-5.

138. Marthaler TM. Changes in dental caries 1953-2003. Caries Res 2004;38:173-81.

139. Marthaler TM. Overview of salt fluoridation in Switzerland since 1955, a short history. Schweiz Monatsschr Zahnmed 2005;115:651-5.

140. Marthaler TM, Steiner M. Kariesstatistische Ergebnisse im Kanton Glarus, vier Jahre nach Einführung des fluoridierten Salzes. Schweiz Monatsschr Zahnheilk 1981;91:6-20.

141. Marthaler TM, O'Mullane DM, Vrbic V. The prevalence of dental caries in Europa 1990-1995. ORCA Saturday afternoon symposium 1995. Caries Res 1996;30:237-55.

142. Marthaler TM, Mejía R, Toth K, Viñes JJ. Caries preventive salt fluoridation. Caries Res 1978;12:15-21.

143. Marxkors R. Lehrbuch der zahnärztlichen Prothetik. Deutscher Zahnärzte Verlag, 2000.

144. Marxkors R, Meiners H. Taschenbuch der zahnärztlichen Werkstoffkunde. München-Wien: Hanser, 1978.

145. Masztalerz A, Masztalerzowa Z, Szymanska M, Tomelka J. Fluor und Gebiß. Fortschr Kieferorthop 1990;51:234-7.

146. McClure FJ. Ingestion of fluoride and dental caries. Quantitative relations based on food and water requirements of children one to twelve years old. Am J Dis Child 1943;66:361-9.

147. McDonagh MS, Whiting PF, Wilson PM, Sutton AJ, Chestnutt I, Cooper J, Misso K, Bradley M, Treasure E, Kleijnen J. Systemic review of water fluoridation. Br Med J 2000;321:855-9.

148. McKay FS, Black GV. An investigation of mottled teeth (I). Dent Cos 1916;58:477-84.

149. Mejía R, Espinal F, Vélez H, Aguirre M. Fluoruracion de la sal en cuatro comunidades columbianas. VIII. Resultados obtenidos de 1064 a 1972. Bol Oficina Saint Panam 1976;80:205-19.

150. Mellberg JR. Fluoride dentifrices: current status and prospects. Int Dent J 1991;41:9-16

151. Menghini G, Steiner M, Marthaler TM, Bandi A. Kariesbefall bei Schülern des Kantons Glarus in den Jahren 1974 bis 1992. Wirkung der Salzfluoridierung. Schweiz Monatsschr Zahnmed 1995;105:467-73.

152. Menghini G, Steiner M, Marthaler TM, de Crousaz P, Helfenstein U, Bandi A. Kariesbefall bei 7- und 12-jährigen Schülern in der Schweiz. Resultate einer landesweiten Erhebung 1987-89. Schweiz Monatsschr Zahnmed 1994;104:585-97.

153. Micheelis W, Bauch J. Mundgesundheitszustand und -verhalten in Ostdeutschland (DMS II). Ergebnisse des IDZ-Ergänzungssurvey 1992. Institut der deutschen Zähnärzte. Deutscher Ärzte-Verlag, 1993.

154. Micheelis W, Reich E. Dritte Deutsche Mundgesundheitsstudie (DMS III). Ergebnisse, Trends und Problemanalysen auf der Grundlage bevölkerungsrepräsentiver Stichproben in Deutschland 1997. Institut der deutschen Zahnärzte. Deutscher Ärzte-Verlag, 1999.

155. Miethke R-R, Newesely H. Zur Kariesprophylaxe bei der kieferorthopädischen Therapie: Kieferorthopädische Kunststoffe mit Fluoridspeicherfunktion. Fortschr Kieferorthop 1987;48:161-6.

156. Miethke R-R, Newesely H. Continuous fluoride release from removable appliances. J Clin Orthod 1988;22:490-1.

157. Mitropoulos CM, Holloway PJ, Davis TG, Worthington HV. Relative efficacy of dentifrices containing 250 or 1000 ppm F^- in preventing dental caries – report of a 32-month clinical trial. Community Dent Health 1984;1:193-200.

158. Mizrahi E. Enamel demineralization following orthodontic treatment. Am J Orthod 1982;82:62-7.

159. Modeer T, Twetman S, Bergstrand F. Three-year study of the effect of fluoride varnish (Duraphat) on proximal caries progression in teenagers. Scand J Dent Res 1984;92:400-7.

160. Moiseenko TD. Wasseraufnahme und Polymerisationsschrumpfung verschiedener licht- und autopolymerisierender Kunststoffe zur Herstellung von intermaxillären Splinten im Rahmen der orthognathen Chirurgie. Münster: Zahnmed Diss, 2007.

161. Monfrin SB, Notaro V, Gassino G, Perotti R, Bassi F. Dimensional contour stability of acrylic resin bases for complete dentures before and after water sorption. Int J Prosthodont 2005;18:480-2.

162. Mullen J. History of water fluoridation. Br Dent J 2005;199:1-4.

163. Nedwed V. Untersuchung zu den Wirkungen eines Pulver-Wasser-Strahlgerätes auf Zahnschmelz und verschiedene Füllungs- und Befestigungsmaterialien in der Kieferorthopädie. Eine In-vitro-Studie zum Prophyflex 2. Berlin: Zahnmed Diss, 2003.

164. Newesely H. Über De- und Remineralisierungsvorgänge in Oberflächenbereichen des Zahnschmelzes. Kariesprophylaxe 1981;3:61-5.

165. Nippert RP, Grönich T. Trinkwasserfluoridierung auch in der Bundesrepublik Deutschland? Eine Expertenbefragung. Berlin: Quintessenz Verlag, 1992.

166. Norman RD, Philips RW, Swartz ML. Fluoride uptake by enamel from certain dental materials. J Dent Res 1960;39:11-6.

167. Øgaard B. CaF_2 formation: cariostatic properties and factors of enhancing the effect. Caries Res 2001;35:40-4.

168. Øgaard B, Rezk-Lega F, Ruben J, Arends J. Cariostatic effect and fluoride release from a visible light-curing adhesive from bonding of orthodontic brackets. Am J Orthod Dentofac Orthop 1992;101:303-7.

169. Øgaard B, Rølla G, Ruben J, Arends J. Relative cariostatic effects of KOH–soluble and KOH–insoluble fluoride in situ. J Dent Res 1990;69:1505-7.

170. Ophaug RH, Singer L, Harland BF. Estimated fluoride intake of average two-year-old children in four dietary regions of the United States. J Dent Res 1980;59:777-81.

171. Ottl P, Schmitz C, Janda R, Weigl P. Vergleichende werkstoffkundliche Untersuchungen licht-, heiß- und autopolymerisierender Kunststoffe für Aufbißschienen. Dtsch Zahnärztl Z 1995;50:471-4.

172. Peng D, Smales RJ, Yip HK, Shu M. In vitro fluoride release from aesthetic restorative materials following recharging with APF gel. Aust Dent J 2000;45:198-203.

173. Petersson LG. Fluoride mouthrinses and fluoride varnishes. Caries Res 1993;27:35-42.

174. Petersson LG, Arthursson L, Ostberg C, Jönsson G, Gleerup A. Caries-inhibiting effects of different modes of Duraphat varnish reapplication: a 3-year radiographic study. Caris Res 1991;25:70-3.

175. Pfeiffer P, Christian R, Lamia S. Flexural strength and moduli of hypoallergenic denture base materials. J Prosthet Dent 2005;93:372-7.

176. Pieper K. Epidemiologische Begleituntersuchungen zur Gruppenprophylaxe 1997. Bonn: Deutsche Arbeitsgemeinschaft für Jugendzahnpflege e.V. (DAJ), 1998.

177. Pieper K, Hüsgen W. Karies- und Parodontitisprophylaxe bei kieferorthopädischen Patienten. Fortschr Kieferorthop 1981;42:247-53.

178. Pieper K, Schulte AG. The decline in dental caries among 12-year old children in Germany between 1994 and 2000. Community Dent Health 2004;21:199-206.

179. Preston AJ, Agalamanyi EA, Higham SM, Mair LM. The recharge of esthetic dental restorative materials with fluoride in vitro – two years' results. Dent Mater 2003;19:32-7.

180. Preston AJ, Higham SM, Agalamanyi EA, Mair LH. Fluoride recharge of aesthetic dental materials. J Oral Rehabil 1999;26:936-40.

181. Randall RC, Wilson NHF. Glass-ionomer restoratives: A systematic review of a secondary caries treatment effect. J Dent Res 1999;78:628-37.

182. Rawls HR. Fluoride-releasing acrylics. J Biomater Appl 1987;1:382-405.

183. Rawls HR, Zimmermann BF. Fluoride-exchanging resins for caries protection. Caries Res 1983;17:32-43.

184. Reich E, Schmalz G, Bergmann RL, Bergler H, Bergmann KE. Kariesbefall von Kindern nach unterschiedlich langer Applikation von Fluoridtabletten. Dtsch Zahnärztl Z 1992;47:232-4.

185. Reitemeier B, Reuther G, Richter G, Böhm B. Vergleichende werkstoffkundliche Prüfungen licht- bzw. heißpolymerisierender Verblendkunststoffe. ZRW 1994;103:440-7.

186. Rezk-Lega F, Øgaard B, Rølla G, Arends J. An in vivo study on the merits of two glass ionomers for the cementation of orthodontic bands. Am J Orthod Dentofac Orthop 1991;99:162-7.

187. Richard HA, Sander M. Technische Mechanik, Festigkeitslehre. Vieweg Verlag, 2006.

188. Rijkom HM van, Truin GJ, Hof MA van't. A meta-analysis of clinical studies on the caries inhibiting effect of fluoride gel treatment. Caries Res 1998;32:83-92.

189. Ring M. Geschichte der Zahnmedizin. Köln: Könemann, 1997.

190. Ripa LW. Review of the anticaries effectiveness of professionally and self-applied topical fluoride gels. J Public Health Dent 1989;49:297-309.

191. Rølla G. On the role of calcium fluoride in the cariostatic mechanism of fluoride. Acta Odontol Scand 1988;46:341-5.

192. Rølla G, Saxegaard E. Critical evaluation of the composition and use of topical fluorides, with emphasis on the role of calcium fluoride in caries inhibition. J Dent Res 1990;69 (Spec Iss):780-5.

193. Rølla G, Øgaard B, Cruz RA. Clinical effects and mechanisms of cariostatic action of fluoride-containing toothpastes: a review. Int Dent J 1991;41:171-4.

194. Rossiwall B, Newesely H. Evaluation of cold cured acrylics under orthodontic aspects. J Dent Res 1984;63:529-44.

195. Rossiwall B, Newesely H, Bartels R. Verarbeitung und Bewertung von KFO-Autopolymerisaten. Fortschr Kieferorthop 1984;45:403-13.

196. Sá Roriz Fontales C, Zero DT, Moss ME, Fu J. Fluoride concentrations in enamel and dentine of primary teeth after pre- and postnatal fluoride exposure. Caries Res 2005;39:505-8.

197. Sander M. Oberflächenmeßtechnik für den Praktiker. Göttingen: Feinprüf Perthen, 1993.

198. Saxegaard E. Alkali solubility of calcium fluoride pre-exposed to inorganic orthophosphate at pH 6.8. Acta Odontol Scand 1988;46:361-3.

199. Saxegaard E, Rølla G. Fluoride acquisition on and in human enamel during topical application in vitro. Scand J Dent Res 1988;96:523-35.

200. Schiffner U. Krankheits- und Versorgungsprävalenzen bei Kindern (12 Jahre). In: Micheelis W, Schiffner U (Hrsg): Vierte Deutsche Mundgesundheitsstudie (DMS IV). Köln: Deutscher Zahnärzte Verlag, 2006.

201. Schiffner U. Fluorid in der Kariesprophylaxe. ZWR 2007;116:165-72.

202. Schiffner U, Grundmann I. Influence of salivary ions and pellicle on release and uptake of fluoride by glass ionomer cement. Caries Res 2000;34:339 (Abstr no 90).

203. Schiffner U, Regel I, Saul L. Zur Fluoridabgabe aus Glasionomerzement und dessen Aufnahme im Zahnschmelz in Gegenwart von Speichel. Biomaterialien 2004;5:86-7.

204. Schulte AG. Fluoridiertes Speisesalz für Großküchen. Zahnärztl Mitt 2003;93:1370-3.

205. Schulte AG. Fluoridiertes Speisesalz und Kariesprävention. Prophylaxe impuls 2008;12:118-25.

206. Schwabe P, Müller-Hartwich R, Jost-Brinkmann P-G. Einfluss von Pulver-Wasser-Strahlgeräten auf die Fluoridfreisetzung von Bracketadhäsiven – eine In-vitro-Studie. Inf Orthod Kieferorthop 2013;45:201-8.

207. Schwickerath H. Die elastischen Eigenschaften der Methacrylate. Dtsch Zahnärztl Z 1961;16:478-81.

208. Seppä L, Leppänen T, Hausen H. Fluoride varnish versus acidulated phosphate fluoride gel: a 3-year clinical trial. Caries Res 1995;29:327-30.

209. Serra MC, Rodrigues ALJ, Paulillo LAMS, Lovadino JR, Navarro MV. Experimental caries lesions around fluoride containing restorative materials. J Dent Res 1996;75:70 (Abstr no 417).

210. Sideridou D, Achilias C, Spyroudi M, Karabela M. Water sorption characteristics of light-cured dental resins and composites based on Bis-EMA/PCDMA. Biomaterials 2004;25:367-76.

211. Städler P. Ergebnisse einer dreijährigen klinisch-experimentellen Doppelblindstudie mit wöchentlichem überwachtem Einbürsten eines natriumfluoridhaltigen Gels. Österr Z Stomatol 1982;79:83-99.

212. Städtler P. Fluoridprophylaxe bei Kindern. Z Stomatol 1990;87:481-92.

213. Stamm J. The value of dentifrices and mouthrinses in caries prevention. Int Dent J 1993;43:517-27

214. Stephen KW. Dentifrices: recent clinical findings and implications for use. Int Dent J 1993;43:549-53

215. Stösser L. Fluorid zur Prävention der Milchzahnkaries. Köln: Deutscher Ärzte-Verlag, 2007.

216. Stösser L, Heinrich-Weltzien R. Kariesprävention mit Fluoriden. Teil I: Chemie, Wirkungsmechanismus und Zahnpastenapplikation. Oralprophylaxe & Kinderzahnheilkunde 2007;29:8-14.

217. Stösser L, Heinrich-Weltzien R. Kariesprävention mit Fluoriden. Teil II: Klinische Applikationsformen der Fluoride sowie Fluoridstoffwechsel und Toxikologie. Oralprophylaxe & Kinderzahnheilkunde 2007;29:65-70.

218. Stösser L, Triebel D, Heinrich-Weltzien R. Der Fluoridgehalt in der Plaque ein Kariesrisikoprädiktor? 34. Jahrestagung der AfG, März 2002.

219. Stösser L, Heinrich-Weltzien R, Tietze W, Triebel D, Röhring B. The fluoride content of dental plaque – influence and correlation with caries risk. Caries Res 2004;38:378-9.

220. Stookey GK, DePaola PF, Featherstone JDB, Fejerskov O, Möller IJ, Rotberg S, Stephen KW, Wefel JS. A critical review of the relative anticaries efficacy of sodium monofluorphosphate dentifrices. Caries Res 1993;27:337-60.

221. Strübig W, Gülzow H-J. Die Abhängigkeit des Fluoridgehaltes im Zahnschmelz von regelmäßiger oder unkontrollierter Fluoridaufnahme. Dtsch Zahnärztl Z 1979;34:172-5.

222. Strübig W, Gülzow H-J. Fluoridkonzentrationen des Trinkwassers und Fluoridgehalt des Milchzahnschmelzes. Dtsch Zahnärztl Z 1979;34:480-3.

223. Swift EJ. Fluoride release from two composite resins. Quintessence Int 1989;20:895-7.

224. Tatevossian A. Fluoride in dental plaque and its effects. J Dent Res 1990;69:645-52.

225. Temin SC, Csuros Z. Long term fluoride release from a composite restorative. Dent Mater 1988;4:184-6.

226. ten Cate JM. In vitro studies on the effect of fluoride de- and remineralization. J Dent Res 1990;69:614-9.

227. ten Cate JM. Review on fluoride, with special emphasis on calcium fluoride mechanisms in caries prevention. Eur J Oral Sci 1997;105:461-5.

228. ten Cate JM. Fluorides in caries prevention and control: empiricism or science. Caries Res 2004;38:254-7.

229. ten Cate JM, Featherstone JD. Mechanistic aspects of the interactions between fluoride and dental enamel. Crit Rev Oral Biol Med 1991;2:283-96.

230. ten Cate JM, van Loveren C. Fluoride mechanisms. Dent Clin North Am 1999;43:713-42.

231. Toth K. Caries prevention by domestic salt fluoridation. Budapest: Akadémiai Kiadó, 1984.

232. Tschernin M. Oberflächeneigenschaften von Zahnrestaurationsmaterialien. München: Zahnmed Diss, 2003.

233. Tsuda H, Jongebloed WL, Strokroos I, Arends J. Combined Raman and SEM study on CaF_2 formed on/in enamel by APF treatment. Caries Res 1993;27:445-54.

234. Twetman S, Axelsson S, Dahlgren H, Holm AK, Källestal C, Lagerlöf F, Lingström P, Mejàre I, Nordenram G, Norlund A, Petersson LG, Söder B. Caries-preventive effect of fluoride toothpaste: a systematic review. Acta Odontol Scand 2003;61:347-55.

235. Twetman S, Petersson LG, Axelsson S, Dahlgren H, Holm AK, Källestal C, Lagerlof F, Lingström P, Mejàre I, Nordenram G, Norlund A, Söder B. Caries-preventive effect of sodium fluoride mouthrinses: a systematic review of controlled clinical trials. Acta Odontol Scand 2004;62:223-30.

236. Vaikuntam J. Fluoride varnishes: should we be using them? Pediatr Dent 2000;22:513-6.

237. van der Hoeven JS, Franken HC. Effect of fluoride on growth and acid by Streptococcus mutans in dental plaque. Infect Immun 1984;45:356-9.

238. Walsh T, Worthington HV, Glenny AM, Appelbe P, Marinho VC, Shi X. Fluoride toothpastes of different concentrations for preventing dental caries in children and adolescents. Cochrane Database Syst Rev 2010;20:CD007868.

239. Wandera A, Spencer P, Bohaty B. In vitro comparative fluoride release, and weight and volume change in light-curing and self-curing glass ionomer materals. Pediatr Dent 1996;18:210-4.

240. Wang NJ, Riordan PJ. Fluoride supplements and caries in a non-fluoridated child population. Community Dent Oral Epidemiol 1999;27:117-23.

241. Wei SHJ, Yiu CKY. Evaluation of the use of topical fluoride gel. Caries Res 1993;27:29-34.

242. Wespi HJ. Fluoridiertes Speisesalz zur Cariesprophylaxe. Schweiz Med Wschr 1950;80:561-4.

243. White DJ, Nancollas GH. Physical and chemical considerations of the role of firmly and loosely bound fluoride in caries prevention. J Dent Res 1990;69 (Spec Iss):587-94.

244. White DJ, Chen WC, Nancollas GH. Kinetic and physical aspects of enamel remineralization—a constant composition study. Caries Res 1988;22:11-9.

245. Whitfort GM. Fluoride in dental products: safety considerations. J Dent Res 1987;66:1056-60.

246. Wiegand A, Attin T. Hinweise zum Einsatz von Fluoriden in der Zahnarztpraxis. DFZ 2003;4:35-42.

247. Winston AE, Bhuskar SN. Caries prevention in the 21st century. J Am Dent Assoc 1998;129:1579-87.

248. Wong MC, Clarkson J, Glenny AM, Lo EC, Marinho VC, Tsang BW, Walsh T, Worthington HV. Cochrane reviews on the benefits/risks of fluoride toothpastes. J Dent Res 2011;90:573-9.

249. Yap AUJ, Tham SY, Zhu LY, Lee HK. Short-term fluoride release from various aesthetic restorative materials. Oper Dent 2002;27:259-65.

250. Zahradnik RT, Propas D, Moreno EC. Effect of fluoride topical solutions on enamel demineralization by lactate buffers and Streptococcus mutans in vitro. J Dent Res 1978; 57:940-6.

251. Ziller S. Soziale Ungleichheit und Mundgesundheit. Gesundheit Berlin (Hrsg), 13. bundesweiter Kongress Armut und Gesundheit, Berlin, 1.10.2007.

252. Zimmer S. Caries-preventive effects of fluoride products when used in conjunction with fluoride dentifrice. Caries Res 2001;35(suppl 1):18-21.

253. Zissis AJ, Polyzois GL, Yannikakis SA, Harrison A. Roughness of denture materials: a comparative study. Int J Prosthodont 2000;13:136-9.

254. Zitz A, Gedalia I, Grajower R. Addition of fluoride compounds to acrylic resin plates: bending strength and fluoride release. J Oral Rehabil 1981;8:37-41.

10 Anhang

10.1 Verwendete Geräte und Materialien

1 Orthocryl® Plus, Order-No. 160-113, Firma Dentaurum, Pforzheim

2 Polyoxymethylen, Pleiger Thermoplast GmbH & Co KG, Schwentinental

3 RÖCONIT® NATUR, EN ISO 6873, Modellhartgips, Typ III, natur, RÖHRICH-GIPSE, Goslar

4 Isolierpinsel Größe 10, Art.Nr. 598952, M+W Dental, Müller & Weygandt GmbH, Büdingen

5 Orthocryl® Isolierung, REF 162-800-00, Dentaurum GmbH & Co. KG, Ispringen

6 Silikonbecher groß, 50 ml, Art.Nr. 98999, M+W Dental, Müller & Weygandt GmbH, Büdingen

7 Polymerisationsdrucktopf ACRYCLAVE S, Art.Nr. 901100425, dent-e-con, Lonsee

8 isel-CNC-Flachbettanlage GFM 4433, Fa. Iselautomation GmbH & Co.KG, Eichenzell

9 Einzahnfräser Varius, Artikel-Nr. ES-SC-0200-3-080-40, vhf camfacture AG, Ammerbuch

10 ELEFANT Schleifmittel GmbH, Wanfried

11 Messschieber mit Messuhr 0-150 mm, Anzeige 0,01 mm, PREISSER Messtechnik GmbH, Gammertingen

12 Polypropylen Röhrchen, Art.-Nr.: 187262 (Durchmesser: 18 mm, Höhe: 95 mm, Volumen: 14 ml, mit Stopfen) Greiner Bio-One GmbH

13 Mischbett-Wasservollentsalzer Seradest SD 2800 VARIO Patrone E 310, Seral Reinstwasser-Systeme Erich Alhäuser GmbH, Ransbach-Baumbach

14 Reagenzglasständer, Kat.-Nr. 38247116215, Brand, Wertheim

15 Dispensette 9455300 Dispensette III Digital Easy Calibration, 1-10 ml, Fisher Scientific GmbH, Schwerte

16 Ionenselektive Fluoridelektrode (Kombinierte Fluorid-Elektrode HI 4110), HANNA Instruments, Kehl am Rhein

17 Digital-pH/mV-Meter (HI 9125 pH/ORP Meter), HANNA Instruments, Kehl am Rhein

18 TISAB II (HI 4010-00 TISAB II SOLUTION), HANNA Instruments, Kehl am Rhein)

19 100 ppm Fluorid-Standardlösung (HI 4010-02 Fluorid Standard), HANNA Instruments, Kehl am Rhein

20 10 ppm Fluorid-Standardlösung (HI 4010-10 Fluorid Standard und TISAB II, HANNA Instruments, Kehl am Rhein)

21 Elektrolytlösung (HI 7075), HANNA Instruments, Kehl am Rhein

22 Filterpapier (FT-3-303-055, 3 hw, 55 mm, Rundfilter), Satorius Stedim Biotech GmbH, Göttingen

23 Transferpette (9280097 Transferpette mit Spitzenabwerfer, Digital, 500 bis 5000 µl), Fisher Scientific GmbH, Schwerte

24 Pipettenspitzen (9479870 PP-Pipettenspitzen, 0,5-5 ml), Fisher Scientific GmbH, Schwerte

25 Vorschubgerät (FRW-750), Feinprüf Perthen GmbH, Göttingen

26 Oberflächen-Mess- und Protokolliergerät (Perthometer S6P), Feinprüf Perthen GmbH, Göttingen

27 Universalprüfmaschine 1445, Zwick GmbH & Co. KG, Ulm

28 Statistik-Software SPSS, Version 22 (2013)

10.2 Eidesstattliche Versicherung

Ich, Barbara Meyl, versichere an Eides statt durch meine eigenhändige Unterschrift, dass ich die vorgelegte Dissertation mit dem Thema: „Veränderung der Fluoridfreisetzung, des Biege- und Bruchverhaltens, der linearen Dimension sowie der Oberflächenstruktur eines Autopolymerisates mit Fluoridzusatz während 36-wöchiger Wasserlagerung“ selbstständig und ohne nicht offengelegte Hilfe Dritter verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel genutzt habe.

Alle Stellen, die wörtlich oder dem Sinne nach auf Publikationen oder Vorträge anderer Autoren beruhen, sind als solche in korrekter Zitierung (siehe „Uniform Requirements for Manuscripts (URM)“ des ICMJE) kenntlich gemacht. Die Abschnitte zu Methodik (insbesondere praktische Arbeiten, Laborbestimmungen, statistische Aufarbeitung) und Resultaten (insbesondere Abbildungen, Grafiken und Tabellen) entsprechen den URM (s. o.) und werden von mir verantwortet.

Die Bedeutung dieser eidesstattlichen Versicherung und die strafrechtlichen Folgen einer unwahren eidesstattlichen Versicherung (§156,161 des Strafgesetzbuches) sind mir bekannt und bewusst.

10.3 Lebenslauf

Mein Lebenslauf wird aus datenschutzrechtlichen Gründen in der elektronischen Version meiner Arbeit nicht veröffentlicht.

10.4 Danksagung

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. Paul-Georg Jost-Brinkmann für die Überlassung des Themas, die intensive und freundliche Betreuung während der Durchführung der Versuche sowie die gewissenhafte Durchsicht des Manuskripts.

Des Weiteren möchte ich mich bei Frau Sabine Milkereit für ihre stets aufmunternde Unterstützung bedanken.

Frau Marlies Thomas-Beyer aus dem kieferorthopädisch-zahntechnischen Labor der Abteilung für Kieferorthopädie und Kinderzahnmeditin sowie der Firma ShortCut aus Berlin möchte ich für die Hilfe bei der Prüfkörperherstellung danken.

Unverzichtbar für die Durchführung der Versuche war auch die geduldige Unterstützung von Herrn PD Dr. W.-D. Müller und Frau Christiane Schöpf aus der Abteilung Zahnärztliche Prothetik, Werkstoffkunde und Biomaterialforschung und dem damaligen Doktoranden Herrn Philipp Schwabe.

Vielen Dank auch an Herrn Thomas Oelkers und Herrn Andreas Böttner für die Hilfe bei der statistischen Auswertung der Daten.

Mein besonderer Dank geht an meinen Partner Uli unter anderem für die unermüdliche Hilfe im Kampf mit OpenOffice.

10.5 Tabellenverzeichnis

Ergebnisse der Längenmessung

Wasserlage-rung	Länge in mm 1. Messung	2. Messung	3. Messung	4. Messung	Datum	Wasserlage-rung	Länge in mm 1. Messung	2. Messung	3. Messung	4. Messung
keine	62,163	62,138	62,170	62,158	07.04.11	Woche 1	62,233	62,237	62,228	62,223
	62,137	62,150	62,138	62,152			62,227	62,217	62,224	62,224
	62,151	62,148	62,166	62,141			62,245	62,242	62,244	62,246
	62,118	62,119	62,117	62,116			62,216	62,213	62,211	62,214
	62,147	62,139	62,147	62,137			62,239	62,244	62,222	62,247
	62,150	62,161	62,148	62,157			62,246	62,267	62,254	62,252
	62,150	62,132	62,154	62,125			62,250	62,242	62,240	62,244
	62,098	62,083	62,082	62,085			62,184	62,188	62,194	62,198
	62,149	62,150	62,147	62,142			62,257	62,243	62,247	62,245
	62,130	62,124	62,134	62,127			62,230	62,227	62,227	62,232
	62,131	62,134	62,142	62,142			62,226	62,227	62,237	62,235
	62,142	62,146	62,128	62,133			62,235	62,241	62,221	62,228
	62,147	62,139	62,142	62,145			62,242	62,232	62,237	62,238
	62,133	62,129	62,131	62,141			62,226	62,224	62,224	62,236
	62,151	62,143	62,142	62,148			62,246	62,236	62,237	62,241
	62,149	62,142	62,149	62,133			62,242	62,237	62,242	62,228
	62,138	62,137	62,146	62,138			62,233	62,230	62,241	62,231
	62,131	62,133	62,135	62,127			62,224	62,228	62,228	62,222
	62,143	62,138	62,128	62,129			62,238	62,231	62,223	62,222
	62,139	62,140	62,165	62,138			62,232	62,235	62,258	62,233
keine	62,113	62,111	62,147	62,113	25.04.11	Woche 4	62,278	62,270	62,274	62,272
	62,174	62,152	62,152	62,147			62,308	62,317	62,310	62,305
	62,176	62,164	62,170	62,159			62,315	62,315	62,313	62,318
	62,137	62,138	62,137	62,130			62,297	62,300	62,317	62,295
	62,132	62,121	62,134	62,123			62,293	62,287	62,298	62,290
	62,118	62,107	62,114	62,112			62,290	62,285	62,294	62,286
	62,096	62,079	62,097	62,087			62,294	62,253	62,269	62,260
	62,153	62,153	62,157	62,148			62,313	62,304	62,310	62,309
	62,133	62,190	62,113	62,119			62,273	62,275	62,284	62,275
	62,127	62,112	62,127	62,114			62,311	62,285	62,288	62,297
	62,150	62,160	62,152	62,155			62,316	62,317	62,317	62,312
	62,147	62,128	62,127	62,127			62,295	62,289	62,281	62,291
	62,160	62,140	62,136	62,139			62,316	62,302	62,313	62,317
	62,134	62,121	62,130	62,132			62,292	62,313	62,294	62,298
	62,125	62,121	62,150	62,125			62,338	62,304	62,321	62,303
	62,158	62,138	62,143	62,139			62,313	62,307	62,314	62,305
	62,159	62,171	62,167	62,181			62,336	62,350	62,341	62,339
	62,120	62,079	62,084	62,080			62,260	62,256	62,264	62,249
	62,136	62,131	62,134	62,123			62,297	62,297	62,296	62,287
	62,133	62,133	62,154	62,150			62,321	62,301	62,327	62,324
keine	62,127	62,144	62,118	62,122	26.05.11	Woche 8	62,328	62,322	62,280	62,326
	62,114	62,109	62,113	62,114			62,317	62,321	62,322	62,330
	62,129	62,115	62,117	62,126			62,340	62,347	62,333	62,345
	62,146	62,144	62,174	62,141			62,358	62,342	62,381	62,351
	62,144	62,142	62,167	62,139			62,335	62,340	62,344	62,345
	62,143	62,161	62,135	62,135			62,337	62,352	62,351	62,350
	62,160	62,165	62,163	62,187			62,378	62,390	62,383	62,392
	62,140	62,140	62,143	62,153			62,352	62,360	62,357	62,367
	62,177	62,166	62,167	62,172			62,381	62,392	62,430	62,400
	62,129	62,133	62,127	62,182			62,359	62,355	62,357	62,363
	62,119	62,103	62,111	62,111			62,310	62,316	62,320	62,324
	62,107	62,100	62,101	62,100			62,325	62,317	62,320	62,314
	62,133	62,149	62,150	62,148			62,357	62,356	62,365	62,373
	62,136	62,125	62,117	62,121			62,333	62,337	62,342	62,336
	62,133	62,134	62,139	62,139			62,359	62,355	62,356	62,369
	62,140	62,131	62,123	62,123			62,336	62,339	62,350	62,334
	62,147	62,150	62,145	62,151			62,386	62,396	62,389	62,390
	62,145	62,147	62,138	62,139			62,350	62,350	62,357	62,362
	62,163	62,157	62,160	62,154			62,355	62,360	62,357	62,370
	62,160	62,144	62,147	62,137			62,359	62,354	62,355	62,363

62,146	62,142	62,143	62,141	23.06.11	Woche 12	62,374	62,373	62,374	62,387
62,136	62,150	62,142	62,139			62,358	62,362	62,362	62,377
62,139	62,147	62,137	62,143			62,365	62,359	62,371	62,359
62,117	62,107	62,128	62,122			62,315	62,338	62,322	62,323
62,138	62,134	62,139	62,145			62,360	62,367	62,366	62,363
62,117	62,122	62,115	62,122			62,329	62,324	62,331	62,323
62,151	62,164	62,156	62,160			62,389	62,383	62,385	62,400
62,142	62,144	62,151	62,137			62,352	62,343	62,337	62,335
62,117	62,123	62,109	62,142			62,339	62,334	62,331	62,338
62,109	62,104	62,123	62,117			62,315	62,313	62,317	62,319
62,124	62,090	62,087	62,094			62,282	62,307	62,280	62,296
62,138	62,150	62,149	62,138			62,362	62,374	62,367	62,376
62,113	62,120	62,131	62,126			62,325	62,323	62,336	62,327
62,152	62,153	62,151	62,149			62,350	62,346	62,351	62,351
62,153	62,150	62,141	62,131			62,344	62,345	62,351	62,353
62,157	62,166	62,162	62,163			62,391	62,388	62,376	62,382
62,132	62,134	62,127	62,136			62,339	62,334	62,341	62,338
62,151	62,151	62,144	62,150			62,333	62,337	62,339	62,334
62,067	62,032	62,083	62,067			62,264	62,261	62,249	62,251
62,152	62,155	62,150	62,143			62,358	62,351	62,351	62,354
62,117	62,097	62,104	62,119	21.07.11	Woche 16	62,340	62,347	62,348	62,347
62,137	62,126	62,132	62,130			62,343	62,335	62,336	62,341
62,138	62,133	62,144	62,134			62,348	62,354	62,363	62,359
62,148	62,143	62,117	62,124			62,330	62,338	62,346	62,350
62,133	62,134	62,126	62,127			62,349	62,349	62,353	62,369
62,146	62,148	62,142	62,139			62,369	62,372	62,377	62,384
62,107	62,126	62,133	62,105			62,321	62,327	62,338	62,335
62,142	62,149	62,151	62,148			62,371	62,380	62,379	62,381
62,103	62,100	62,100	62,104			62,321	62,329	62,331	62,334
62,125	62,127	62,128	62,127			62,357	62,358	62,356	62,356
62,160	62,161	62,151	62,154			62,391	62,388	62,396	62,396
62,132	62,135	62,131	62,141			62,332	62,332	62,341	62,341
62,136	62,136	62,139	62,137			62,358	62,357	62,363	62,360
62,141	62,146	62,138	62,143			62,368	62,364	62,362	62,366
62,139	62,134	62,149	62,123			62,362	62,365	62,372	62,373
62,124	62,119	62,113	62,103			62,330	62,344	62,337	62,360
62,158	62,151	62,141	62,157			62,356	62,356	62,363	62,376
62,148	62,140	62,152	62,163			62,382	62,385	62,390	62,396
62,153	62,161	62,151	62,136			62,354	62,359	62,373	62,367
62,132	62,145	62,127	62,112			62,329	62,250	62,341	62,336
62,145	62,152	62,162	62,155	18.08.11	Woche 20	62,382	62,380	62,383	62,387
62,146	62,141	62,167	62,163			62,354	62,363	62,370	62,364
62,158	62,167	62,173	62,173			62,384	62,387	62,389	62,390
62,162	62,170	62,173	62,159			62,414	62,413	62,426	62,423
62,156	62,172	62,169	62,170			62,395	62,403	62,413	62,421
62,125	62,131	62,144	62,142			62,333	62,343	62,356	62,348
62,122	62,118	62,120	62,129			62,323	62,350	62,336	62,357
62,124	62,123	62,129	62,134			62,321	62,325	62,324	62,337
62,140	62,135	62,147	62,156			62,366	62,367	62,374	62,372
62,136	62,137	62,140	62,150			62,347	62,344	62,346	62,350
62,136	62,151	62,155	62,157			62,347	62,352	62,356	62,370
62,134	62,128	62,138	62,140			62,339	62,341	62,350	62,356
62,150	62,170	62,157	62,172			62,366	62,369	62,381	62,386
62,158	62,164	62,151	62,163			62,358	62,367	62,366	62,373
62,104	62,099	62,105	62,130			62,349	62,350	62,342	62,354
62,163	62,154	62,172	62,165			62,392	62,394	62,406	62,417
62,137	62,133	62,139	62,134			62,366	62,354	62,357	62,362
62,122	62,147	62,153	62,153			62,348	62,353	62,357	62,362
62,136	62,133	62,144	62,141			62,371	62,367	62,383	62,370
62,119	62,122	62,128	62,121			62,354	62,349	62,361	62,368
62,111	62,118	62,117	62,114	15.09.11	Woche 24	62,307	62,298	62,300	62,300
62,122	62,122	62,123	62,122			62,305	62,320	62,319	62,317
62,133	62,123	62,128	62,131			62,340	62,327	62,331	62,333
62,129	62,151	62,126	62,123			62,350	62,337	62,341	62,340
62,146	62,146	62,134	62,149			62,321	62,314	62,326	62,325
62,130	62,141	62,133	62,137			62,354	62,345	62,334	62,339
62,177	62,165	62,163	62,156			62,350	62,357	62,358	62,363
62,150	62,149	62,151	62,173			62,356	62,370	62,372	62,377
62,154	62,161	62,156	62,154			62,366	62,368	62,375	62,383
62,144	62,141	62,137	62,157			62,362	62,361	62,364	62,389
62,134	62,117	62,129	62,120			62,326	62,327	62,332	62,325
62,133	62,128	62,124	62,121			62,339	62,347	62,354	62,362
62,161	62,149	62,156	62,157			62,333	62,345	62,345	62,360
62,136	62,133	62,138	62,136			62,330	62,328	62,327	62,334
62,149	62,148	62,158	62,152			62,364	62,367	62,367	62,376
62,147	62,178	62,166	62,159			62,387	62,392	62,393	62,396
62,147	62,172	62,177	62,187			62,390	62,383	62,405	62,429
62,144	62,159	62,158	62,150			62,341	62,368	62,351	62,373
62,155	62,133	62,135	62,131			62,351	62,346	62,350	62,360
62,134	62,134	62,136	62,144			62,328	62,327	62,326	62,346

62,134	62,103	62,114	62,122	13.10.11	Woche 28	62,294	62,310	62,292	62,285
62,162	62,149	62,156	62,150			62,364	62,371	62,363	62,372
62,129	62,133	62,117	62,149			62,336	62,361	62,340	62,334
62,140	62,172	62,144	62,151			62,354	62,360	62,343	62,339
62,173	62,151	62,151	62,151			62,353	62,340	62,330	62,332
62,124	62,124	62,126	62,123			62,279	62,260	62,281	62,254
62,117	62,127	62,126	62,120			62,317	62,294	62,299	62,313
62,086	62,084	62,101	62,120			62,300	62,340	62,305	62,313
62,137	62,139	62,148	62,137			62,363	62,346	62,343	62,340
62,151	62,158	62,163	62,148			62,359	62,362	62,360	62,361
62,169	62,181	62,173	62,174			62,371	62,347	62,372	62,376
62,138	62,137	62,141	62,132			62,342	62,353	62,339	62,335
62,141	62,145	62,161	62,151			62,363	62,344	62,350	62,347
62,149	62,152	62,152	62,147			62,362	62,355	62,382	62,354
62,157	62,149	62,166	62,151			62,330	62,336	62,327	62,331
62,129	62,122	62,143	62,122			62,339	62,303	62,328	62,307
62,149	62,148	62,146	62,140			62,354	62,351	62,356	62,354
62,151	62,166	62,156	62,167			62,365	62,358	62,356	62,363
62,158	62,156	62,157	62,163			62,360	62,358	62,369	62,368
62,133	62,133	62,144	62,133			62,343	62,336	62,341	62,325
62,139	62,158	62,150	62,148	10.11.11	Woche 32	62,337	62,337	62,353	62,340
62,123	62,128	62,129	62,128			62,307	62,313	62,308	62,312
62,120	62,136	62,134	62,129			62,288	62,303	62,297	62,312
62,128	62,139	62,149	62,158			62,333	62,328	62,341	62,330
62,137	62,137	62,148	62,153			62,345	62,339	62,344	62,349
62,138	62,134	62,126	62,140			62,337	62,339	62,344	62,346
62,114	62,123	62,126	62,125			62,306	62,306	62,307	62,306
62,133	62,139	62,139	62,142			62,354	62,350	62,354	62,357
62,151	62,151	62,148	62,161			62,358	62,362	62,362	62,357
62,138	62,156	62,130	62,173			62,363	62,361	62,363	62,357
62,149	62,147	62,138	62,133			62,322	62,324	62,326	62,318
62,158	62,163	62,139	62,158			62,348	62,350	62,352	62,347
62,114	62,129	62,117	62,127			62,352	62,322	62,330	62,331
62,138	62,139	62,146	62,146			62,332	62,343	62,336	62,336
62,157	62,162	62,154	62,163			62,335	62,371	62,369	62,365
62,137	62,127	62,138	62,127			62,311	62,317	62,319	62,316
62,111	62,114	62,111	62,109			62,294	62,290	62,294	62,294
62,128	62,129	62,127	62,126			62,337	62,335	62,357	62,339
62,134	62,141	62,136	62,164			62,343	62,336	62,342	62,343
62,139	62,135	62,134	62,141			62,316	62,326	62,310	62,323
62,138	62,146	62,141	62,147	08.12.11	Woche 36	62,346	62,344	62,355	62,360
62,130	62,129	62,131	62,127			62,333	62,328	62,334	62,331
62,099	62,095	62,109	62,096			62,281	62,284	62,295	62,288
62,101	62,097	62,088	62,098			62,308	62,289	62,313	62,316
62,178	62,181	62,177	62,179			62,387	62,392	62,386	62,386
62,123	62,140	62,143	62,157			62,348	62,356	62,345	62,359
62,124	62,121	62,117	62,119			62,297	62,302	62,297	62,294
62,143	62,114	62,119	62,105			62,292	62,293	62,293	62,295
62,151	62,153	62,135	62,123			62,354	62,350	62,347	62,351
62,114	62,112	62,109	62,123			62,308	62,309	62,305	62,307
62,126	62,124	62,122	62,122						
62,142	62,112	62,120	62,118						
62,161	62,164	62,158	62,156						
62,127	62,136	62,127	62,123						
62,132	62,142	62,131	62,136						
62,117	62,113	62,104	62,106						
62,143	62,141	62,152	62,129						
62,145	62,139	62,133	62,137						
62,122	62,088	62,094	62,092						
62,148	62,145	62,143	62,158						
62,095	62,081	62,082	62,077						
62,117	62,121	62,124	62,122						
62,112	62,113	62,119	62,113						
61,900	61,893	61,893	61,890						
62,156	62,154	62,153	62,151						
62,148	62,138	62,134	62,144						
62,154	62,147	62,148	62,141						
62,161	62,147	62,150	62,156						
62,107	62,096	62,105	62,109						
62,122	62,126	62,122	62,126						
62,123	62,128	62,126	62,131						
62,129	62,131	62,128	62,137						
62,135	62,120	62,112	62,111						
62,124	62,122	62,112	62,115						
62,133	62,151	62,129	62,131						
62,137	62,141	62,137	62,137						
62,166	62,164	62,170	62,177						
62,140	62,140	62,138	62,137						
62,128	62,127	62,121	62,121						
62,122	62,134	62,123	62,125						

Ergebnisse der Flouridbestimmung

Probe	Woche 1	Woche 4	Woche 8	Woche 12	Woche 16	Woche 20	Woche 24	Woche 28	Woche 32	Woche 36
1	1,86 ppm									
2	1,85 ppm									
3	1,36 ppm									
4	1,83 ppm									
5	1,93 ppm									
6	1,78 ppm									
7	2,08 ppm									
8	2,03 ppm									
9	1,87 ppm									
10	2,05 ppm									
11	1,61 ppm									
12	2,00 ppm									
13	1,98 ppm									
14	1,86 ppm									
15	2,03 ppm									
16	2,03 ppm									
17	1,76 ppm									
18	2,21 ppm									
19	1,15 ppm									
20	1,86 ppm									
21		2,09 ppm								
22		1,78 ppm								
23		2,20 ppm								
24		2,20 ppm								
25		2,28 ppm								
26		2,16 ppm								
27		2,25 ppm								
28		2,28 ppm								
29		2,13 ppm								
30		2,14 ppm								
31		2,30 ppm								
32		2,34 ppm								
33		2,29 ppm								
34		2,30 ppm								
35		2,35 ppm								
36		2,28 ppm								
37		2,32 ppm								
38		2,23 ppm								
39		2,21 ppm								
40		2,18 ppm								
41			3,61 ppm							
42			3,12 ppm							
43			3,52 ppm							
44			3,52 ppm							
45			4,45 ppm							
46			3,16 ppm							
47			3,76 ppm							
48			3,80 ppm							
49			3,95 ppm							
50			3,76 ppm							
51			3,63 ppm							
52			3,01 ppm							
53			3,92 ppm							
54			4,14 ppm							
55			4,24 ppm							
56			4,04 ppm							
57			3,63 ppm							
58			4,04 ppm							
59			4,36 ppm							
60			3,36 ppm							

61	2,26 ppm			
62	2,18 ppm			
63	2,21 ppm			
64	2,24 ppm			
65	2,30 ppm			
66	2,35 ppm			
67	2,24 ppm			
68	2,28 ppm			
69	2,40 ppm			
70	2,43 ppm			
71	2,11 ppm			
72	2,33 ppm			
73	2,28 ppm			
74	2,34 ppm			
75	2,19 ppm			
76	2,47 ppm			
77	2,54 ppm			
78	2,40 ppm			
79	2,45 ppm			
80	2,31 ppm			
81		2,13 ppm		
82		2,35 ppm		
83		2,39 ppm		
84		2,37 ppm		
85		2,39 ppm		
86		2,37 ppm		
87		2,40 ppm		
88		2,30 ppm		
89		2,23 ppm		
90		2,37 ppm		
91		2,23 ppm		
92		2,21 ppm		
93		2,22 ppm		
94		2,21 ppm		
95		2,23 ppm		
96		2,28 ppm		
97		2,30 ppm		
98		2,27 ppm		
99		2,28 ppm		
100		2,30 ppm		
101			2,26 ppm	
102			2,17 ppm	
103			2,13 ppm	
104			2,16 ppm	
105			2,16 ppm	
106			2,12 ppm	
107			2,19 ppm	
108			2,15 ppm	
109			2,22 ppm	
110			2,03 ppm	
111			2,16 ppm	
112			2,14 ppm	
113			2,13 ppm	
114			2,25 ppm	
115			2,14 ppm	
116			2,27 ppm	
117			2,35 ppm	
118			2,28 ppm	
119			1,83 ppm	
120			2,02 ppm	
121				1,34 ppm
122				1,66 ppm
123				1,90 ppm
124				1,53 ppm
125				1,88 ppm
126				1,43 ppm
127				1,47 ppm
128				1,95 ppm
129				1,48 ppm
130				1,68 ppm
131				1,56 ppm
132				1,52 ppm
133				1,57 ppm
134				1,75 ppm
135				1,84 ppm
136				1,10 ppm
137				1,38 ppm
138				2,19 ppm
139				1,79 ppm
140				1,49 ppm

141	0,97 ppm		
142	1,01 ppm		
143	0,61 ppm		
144	0,90 ppm		
145	0,90 ppm		
146	0,86 ppm		
147	0,66 ppm		
148	0,59 ppm		
149	0,63 ppm		
150	0,54 ppm		
151	1,17 ppm		
152	1,12 ppm		
153	0,98 ppm		
154	0,53 ppm		
155	0,53 ppm		
156	0,88 ppm		
157	0,83 ppm		
158	0,73 ppm		
159	0,72 ppm		
160	0,58 ppm		
161		0,45 ppm	
162		0,36 ppm	
163		0,36 ppm	
164		0,43 ppm	
165		0,42 ppm	
166		0,44 ppm	
167		0,38 ppm	
168		0,74 ppm	
169		0,50 ppm	
170		0,52 ppm	
171		0,60 ppm	
172		0,65 ppm	
173		0,58 ppm	
174		0,61 ppm	
175		0,71 ppm	
176		0,52 ppm	
177		0,91 ppm	
178		0,69 ppm	
179		0,55 ppm	
180		0,78 ppm	
181			0,70 ppm
182			0,65 ppm
183			0,36 ppm
184			0,37 ppm
185			0,34 ppm
186			1,20 ppm
187			0,40 ppm
188			0,28 ppm
189			0,37 ppm
190			0,38 ppm
191			0,75 ppm
192			0,60 ppm
193			0,41 ppm
194			0,32 ppm
195			0,39 ppm
196			1,15 ppm
197			0,45 ppm
198			0,23 ppm
199			0,42 ppm
200			0,33 ppm

Ergebnisse der Profilanalysen

Datum	Lagerung in Wasser	Probe	Messung	Maximale Rautiefe Rmax in ym	Gemittelte Rautiefe Rz in ym	Mittenrauwert Ra in ym	Maximale Rautiefe Rt in ym	Mittenrauwert Rq in ym
14.04.2011	Woche 1	221	1	11,30	8,01	1,26	11,90	1,75
			2	8,09	6,52	1,07	8,85	1,41
			3	12,40	9,69	1,68	13,50	2,14
			4	10,10	8,28	1,11	10,60	1,49
		222	1	8,05	6,22	0,84	8,39	1,14
			2	11,70	7,29	1,07	11,70	1,49
			3	13,90	8,24	1,11	13,90	1,56
			4	9,23	7,10	1,07	10,60	1,41
		223	1	8,24	5,87	1,07	8,32	1,41
			2	5,38	4,31	0,76	5,57	0,95
			3	10,20	7,29	0,92	13,00	1,41
			4	10,70	7,51	1,42	10,70	1,91
		224	1	7,13	5,99	0,92	7,51	1,22
			2	9,19	7,48	1,14	10,00	1,22
			3	13,00	7,71	0,95	13,10	1,34
			4	8,13	7,21	1,26	9,08	1,64
		225	1	12,60	7,36	1,07	12,60	1,45
			2	8,51	7,25	1,26	9,35	1,60
			3	10,30	8,62	1,37	10,70	1,79
			4	8,28	5,68	0,80	8,35	1,14
		226	1	15,80	9,08	1,30	15,80	1,87
			2	13,00	11,80	1,98	14,90	2,48
			3	10,20	7,97	0,99	10,20	1,34
			4	15,50	11,00	1,41	15,50	1,98
		227	1	13,20	10,90	1,75	14,80	2,21
			2	19,80	11,90	1,91	19,80	2,56
			3	10,90	8,54	1,26	10,90	1,64
			4	13,50	10,50	1,30	13,70	1,75
		228	1	10,50	7,32	1,18	10,80	1,56
			2	13,40	11,90	1,75	14,30	2,21
			3	11,90	7,78	1,11	12,10	1,41
			4	22,80	13,60	1,68	22,80	2,29
		229	1	16,60	11,70	1,68	16,70	2,25
			2	10,80	9,38	1,60	13,10	2,06
			3	17,10	10,70	1,91	17,10	2,44
			4	9,42	7,29	1,14	10,60	1,56
		230	1	10,90	8,74	1,34	12,70	1,75
			2	8,35	6,71	1,03	8,62	1,34
			3	15,10	10,10	1,53	15,50	1,98
			4	8,89	7,10	1,22	8,93	1,49
		231	1	9,80	6,94	1,03	10,50	1,30
			2	11,30	8,35	1,14	13,60	1,53
			3	14,20	10,00	1,41	14,20	1,91
			4	8,96	7,25	1,30	9,65	1,60
		232	1	13,20	10,80	1,75	13,50	2,21
			2	8,77	6,94	1,11	8,77	1,41
			3	8,24	7,06	1,03	9,08	1,37
			4	10,00	8,47	1,26	10,00	1,64
		233	1	11,70	7,10	0,80	11,90	1,14
			2	8,51	6,71	1,14	8,81	1,53
			3	10,30	7,78	1,22	11,00	1,60
			4	8,58	7,48	1,22	9,38	1,60
		234	1	11,70	9,27	1,56	13,40	1,98
			2	13,20	10,90	2,02	15,90	2,59
			3	24,40	15,90	1,79	24,40	2,52
			4	13,10	8,05	0,99	15,70	1,64
		235	1	24,40	16,70	2,56	28,90	3,55
			2	14,90	10,60	1,41	15,80	1,87
			3	19,10	14,50	2,10	21,70	2,75
			4	14,80	9,35	1,49	14,80	1,91
		236	1	11,60	6,98	1,18	11,60	1,60
			2	9,27	7,48	0,95	9,27	1,30
			3	12,50	9,12	1,64	14,00	2,10
			4	5,95	5,30	0,92	6,48	1,18
		237	1	13,30	11,10	1,83	13,80	2,40
			2	9,61	8,58	1,30	11,30	1,68
			3	18,40	12,40	1,64	18,40	2,21
			4	9,69	7,74	1,37	10,90	1,75

		238	1	15,70	11,70	1,68	18,10	2,33
			2	13,60	10,00	1,53	13,60	2,02
			3	8,81	7,36	0,92	9,57	1,22
			4	16,50	10,10	1,56	16,50	2,02
		239	1	10,40	8,62	1,26	10,90	1,68
			2	14,60	8,89	1,07	14,60	1,56
			3	16,50	10,50	1,60	17,10	2,14
			4	14,00	11,00	1,79	14,10	2,29
		240	1	7,63	6,18	0,99	8,05	1,30
			2	11,90	6,56	1,07	11,90	1,53
			3	17,20	10,80	1,60	17,70	2,21
			4	8,05	6,10	1,03	8,62	1,34
25.04.2011	Woche 4	21	1	18,00	12,00	1,83	18,00	2,40
			2	8,89	7,86	1,26	10,20	1,64
			3	21,60	15,60	2,37	21,60	3,01
			4	11,40	8,47	1,22	12,90	1,60
		22	1	12,90	11,20	2,21	14,10	2,78
			2	13,10	10,60	1,75	13,90	2,29
			3	7,78	5,72	0,80	8,54	1,11
			4	17,70	11,50	1,41	18,90	1,95
		23	1	10,80	8,35	1,37	13,00	1,79
			2	12,10	9,92	1,34	12,20	1,83
			3	14,80	10,10	1,49	14,80	2,02
			4	13,50	8,62	1,41	15,00	1,79
		24	1	13,90	9,80	1,37	13,90	1,79
			2	15,10	10,40	1,56	15,10	2,02
			3	11,30	9,65	1,41	15,00	1,87
			4	10,50	7,78	1,22	12,40	1,60
		25	1	39,20	19,10	2,17	39,20	3,43
			2	8,93	8,01	1,34	9,80	1,72
			3	9,54	6,33	1,22	10,90	1,68
			4	9,73	8,05	1,18	10,80	1,60
		26	1	8,16	6,14	0,88	8,89	1,18
			2	7,48	6,56	0,84	8,74	1,18
			3	12,60	9,35	1,68	12,60	2,25
			4	6,94	5,30	0,84	6,98	1,07
		27	1	12,30	7,74	1,07	12,30	1,41
			2	8,96	8,35	1,34	10,80	1,68
			3	9,46	8,09	1,22	10,30	1,64
			4	9,96	7,74	1,07	11,00	1,45
		28	1	14,80	10,30	1,45	14,80	1,98
			2	17,20	11,20	2,02	17,20	2,59
			3	15,00	11,30	1,64	15,00	2,17
			4	16,50	12,50	1,79	16,50	2,44
		29	1	14,60	8,20	1,45	14,60	1,91
			2	11,70	9,42	1,49	13,20	1,95
			3	7,90	6,22	1,03	7,90	1,37
			4	9,38	7,55	1,03	11,30	1,37
		30	1	17,40	11,60	1,87	17,40	2,56
			2	12,60	10,70	1,56	13,70	2,06
			3	11,80	9,84	1,53	13,30	1,95
			4	12,00	9,92	1,53	12,00	1,98
		31	1	34,20	17,40	1,68	37,20	2,52
			2	19,60	13,60	1,91	22,30	2,67
			3	18,10	11,60	1,41	18,10	1,91
			4	22,20	15,80	2,29	24,50	3,01
		32	1	12,90	9,92	1,49	12,90	1,91
			2	11,60	9,31	1,49	12,80	1,91
			3	7,71	6,45	0,99	7,90	1,30
			4	8,89	6,22	0,99	9,77	1,26
		33	1	17,90	10,40	1,75	17,90	2,48
			2	9,12	8,01	1,34	9,88	1,68
			3	24,90	14,90	2,14	25,90	2,94
			4	9,38	7,67	1,34	10,50	1,75
		34	1	14,20	8,96	1,53	14,20	2,10
			2	16,50	8,62	1,07	17,70	1,53
			3	11,00	8,77	1,14	12,00	1,53
			4	7,63	6,52	1,14	9,12	1,45

		35	1	13,30	10,50	1,53	14,90	2,02
			2	11,70	7,40	1,07	12,10	1,41
			3	13,50	8,70	1,68	14,10	2,21
			4	10,10	8,24	1,30	11,90	1,68
		36	1	7,82	5,19	0,88	7,82	1,22
			2	5,68	5,07	0,92	6,37	1,11
			3	12,20	6,45	0,92	12,20	1,34
			4	7,25	6,18	0,99	7,44	1,30
		37	1	12,60	7,97	1,07	13,20	1,41
			2	7,78	6,52	1,22	8,51	1,60
			3	10,30	5,57	0,95	10,30	1,34
			4	9,46	6,14	0,92	9,96	1,22
		38	1	9,12	6,45	0,92	9,31	1,22
			2	9,42	6,33	0,92	9,57	1,22
			3	9,12	7,40	1,14	12,70	1,56
			4	7,55	5,91	0,48	7,71	1,14
		39	1	9,42	8,74	1,30	11,30	1,68
			2	8,05	4,69	0,65	8,51	0,99
			3	9,96	8,54	1,45	9,96	1,79
			4	11,70	9,50	1,34	13,70	1,79
		40	1	19,90	11,10	1,34	20,50	2,10
			2	11,30	6,03	0,76	11,30	1,14
			3	21,50	14,90	2,14	21,50	2,94
			4	13,00	8,93	1,30	13,40	1,72
26.05.2011	Woche 8	41	1	10,40	9,75	1,68	11,40	2,10
			2	13,60	11,10	1,68	13,60	2,17
			3	9,77	7,55	1,22	10,10	1,68
			4	14,00	11,70	1,75	14,30	2,21
		42	1	11,80	8,51	1,49	11,90	1,83
			2	14,50	10,60	1,45	15,10	2,02
			3	25,60	15,00	2,10	25,90	3,17
			4	14,10	10,60	1,53	14,70	2,02
		43	1	9,96	9,12	1,34	11,10	1,75
			2	14,20	10,90	1,45	15,70	1,95
			3	11,90	8,81	1,45	14,00	1,91
			4	15,00	10,60	1,49	16,90	1,98
		44	1	7,36	6,10	0,99	7,36	1,30
			2	11,00	9,61	1,30	12,30	1,72
			3	16,40	8,89	1,49	16,40	2,10
			4	15,30	9,00	1,34	15,60	1,87
		45	1	9,54	5,61	0,76	9,54	1,14
			2	10,40	8,96	1,53	11,70	1,95
			3	10,10	8,43	1,34	10,90	1,68
			4	11,60	10,40	1,41	13,20	1,87
		46	1	6,03	5,38	0,80	6,29	1,03
			2	9,96	5,53	0,88	9,96	1,22
			3	10,90	8,47	1,34	14,20	1,72
			4	7,71	5,99	0,99	10,30	1,30
		47	1	10,40	8,39	1,07	10,50	1,53
			2	9,92	7,29	1,14	9,92	1,45
			3	10,10	8,24	1,26	11,20	1,68
			4	9,92	8,54	1,34	10,80	1,68
		48	1	14,50	10,90	1,41	15,80	1,98
			2	11,90	9,91	1,41	12,80	1,83
			3	11,00	10,00	1,49	12,80	1,95
			4	11,30	8,81	1,37	12,70	1,79
		49	1	15,40	10,20	1,53	15,40	2,02
			2	11,20	8,96	1,49	11,20	1,91
			3	13,70	11,70	1,79	15,00	2,40
			4	5,91	4,57	0,61	6,75	0,88
		50	1	7,71	6,03	1,03	7,71	1,30
			2	7,13	6,22	0,95	7,13	1,26
			3	12,40	10,60	1,79	13,40	2,29
			4	6,22	4,62	0,53	6,68	0,80
		51	1	7,44	6,10	0,99	8,54	1,41
			2	13,90	6,98	0,95	14,50	1,34
			3	7,48	5,38	0,76	7,71	1,03
			4	12,30	6,64	0,84	12,30	1,22
		52	1	10,30	6,26	0,84	10,50	1,14
			2	10,90	8,58	1,34	10,90	1,75
			3	11,80	9,92	1,64	14,40	2,10
			4	9,12	8,66	1,68	10,40	2,06

		53	1	16,40	11,00	1,56	18,20	2,10
			2	18,00	12,30	2,06	18,50	2,59
			3	16,50	11,30	1,68	20,00	2,37
			4	15,40	11,30	1,56	15,40	2,10
		54	1	11,60	9,84	1,49	13,00	1,95
			2	10,80	8,16	1,18	10,80	1,53
			3	11,80	9,46	1,45	11,80	1,79
			4	15,60	12,90	1,83	15,60	2,44
		55	1	18,30	13,70	1,91	18,80	2,56
			2	14,40	11,20	1,64	14,80	2,10
			3	28,30	18,20	2,56	36,80	3,74
			4	20,00	12,60	1,79	21,60	2,44
		56	1	11,50	9,50	1,30	13,00	1,75
			2	11,50	9,08	1,37	11,90	1,79
			3	12,10	10,00	1,41	15,30	1,91
			4	15,50	9,88	1,64	15,50	2,10
		57	1	8,74	6,60	1,11	9,16	1,49
			2	14,80	9,04	1,68	14,80	2,25
			3	10,80	8,93	1,30	12,40	1,75
			4	10,40	7,40	1,22	11,20	1,68
		58	1	8,51	6,45	0,95	8,51	1,30
			2	8,62	6,29	0,84	9,12	1,18
			3	13,60	9,46	1,11	14,10	1,56
			4	16,60	7,67	0,92	16,60	1,37
		59	1	10,50	7,51	1,07	10,50	1,41
			2	9,77	7,93	1,07	11,00	1,45
			3	13,60	9,46	1,11	14,10	1,56
			4	16,60	7,67	0,92	16,60	1,37
		60	1	13,10	8,66	1,37	13,50	1,79
			2	10,60	7,29	1,22	10,70	1,60
			3	6,22	5,61	0,88	6,75	1,14
			4	9,80	8,13	1,22	10,80	1,60
23.06.2011	Woche 12	61	1	9,31	5,84	0,92	9,31	1,68
			2	15,80	10,40	1,41	16,50	1,91
			3	1,69	1,28	0,18	1,79	0,24
			4	10,30	6,29	1,07	10,30	1,45
		62	1	11,30	9,00	1,30	11,90	1,72
			2	15,00	10,10	1,45	17,60	2,14
			3	9,73	8,43	1,26	10,80	1,60
			4	9,36	9,04	1,45	11,10	1,83
		63	1	9,23	7,63	1,30	10,50	1,64
			2	8,66	6,29	1,03	8,66	1,30
			3	13,30	11,00	1,72	14,60	2,25
			4	6,98	5,84	0,76	8,32	1,07
		64	1	22,20	14,00	1,49	22,20	2,25
			2	16,90	9,80	1,49	16,90	2,05
			3	12,30	9,42	1,56	12,80	2,02
			4	13,30	8,43	1,22	13,30	1,64
		65	1	17,20	10,70	1,53	18,80	2,21
			2	10,60	8,43	1,30	10,60	1,75
			3	13,20	9,54	1,45	13,20	1,87
			4	10,70	8,43	1,49	10,70	1,91
		66	1	10,40	8,16	1,14	10,40	1,49
			2	17,40	13,00	1,49	17,40	2,17
			3	13,80	11,60	1,83	13,80	2,37
			4	12,40	8,28	1,14	12,40	1,56
		67	1	12,20	8,51	1,18	12,20	1,53
			2	13,10	8,51	1,07	13,90	1,56
			3	6,29	5,38	0,84	6,29	1,11
			4	12,00	7,67	0,99	12,70	1,30
		68	1	11,40	7,21	1,03	11,40	1,45
			2	12,90	9,92	1,26	14,50	1,72
			3	14,60	10,90	1,64	14,60	2,14
			4	17,30	11,60	1,64	18,70	2,21
		69	1	13,40	11,40	1,64	14,80	2,10
			2	11,10	9,38	1,22	11,90	1,60
			3	9,35	8,05	1,22	11,60	1,60
			4	12,90	10,00	1,56	12,90	2,06
		70	1	14,80	8,35	1,07	15,60	1,49
			2	6,26	4,96	0,80	7,13	1,03
			3	17,60	12,20	1,72	17,60	2,25
			4	7,55	6,29	0,88	7,86	1,14

		71	1	24,20	11,50	1,34	28,60	2,10
			2	6,41	5,61	0,88	7,36	1,14
			3	8,05	6,81	0,80	9,19	1,07
			4	8,32	6,10	0,95	8,93	1,34
		72	1	11,40	7,10	1,07	11,40	1,41
			2	10,20	8,70	1,30	10,90	1,72
			3	12,70	10,80	1,68	15,00	2,14
			2	12,80	8,85	1,37	13,70	1,83
		73	1	9,92	7,82	1,22	9,92	1,53
			2	6,56	5,00	0,80	6,75	1,07
			3	10,30	7,67	1,22	12,00	1,60
			4	7,20	5,84	0,88	7,02	1,14
		74	1	9,38	6,90	1,18	9,69	1,56
			2	8,13	6,90	1,11	8,77	1,45
			3	10,10	8,32	1,30	12,50	1,72
			4	13,70	7,51	0,99	15,10	1,37
		75	1	11,50	10,10	1,22	12,40	1,68
			2	11,20	10,10	1,79	12,60	2,17
			3	11,90	10,10	1,49	13,40	2,02
			4	11,90	11,10	1,53	13,70	2,02
		76	1	10,20	9,00	1,37	10,70	1,75
			2	10,80	8,43	1,26	11,40	1,64
			3	8,09	6,37	1,03	8,54	1,37
			4	10,50	8,35	1,34	10,50	1,68
		77	1	13,20	9,73	1,30	13,90	1,72
			2	16,70	10,80	1,53	16,70	2,10
			3	9,08	7,55	1,26	10,60	1,60
			4	16,00	12,90	1,72	16,40	2,29
		78	1	10,00	8,20	1,30	10,00	1,68
			2	16,10	12,30	1,98	16,70	2,56
			3	13,90	10,30	1,45	16,00	1,95
			4	13,40	11,40	1,72	15,40	2,21
		79	1	7,21	5,91	0,84	8,89	1,11
			2	14,50	10,80	1,37	15,90	1,87
			3	9,88	8,35	1,41	12,30	1,79
			4	9,42	8,01	1,18	9,46	1,53
		80	1	11,80	9,42	1,49	14,50	2,14
			2	7,86	5,91	0,88	8,01	1,18
			3	13,70	12,60	1,83	14,70	2,37
			4	7,55	5,72	0,84	7,55	1,11
21.07.2011	Woche 16	81	1	7,44	6,29	0,92	7,48	1,26
			2	9,46	7,93	1,18	9,46	1,56
			3	9,88	7,90	1,22	10,10	1,60
			4	8,74	7,21	1,11	8,81	1,49
		82	1	9,42	8,47	1,53	11,80	1,95
			2	13,70	8,74	1,18	13,70	1,56
			3	14,50	10,60	1,56	14,50	2,14
			4	12,10	7,86	1,30	12,10	1,75
		83	1	19,30	10,60	1,45	19,30	2,02
			2	10,50	8,09	1,30	11,10	1,72
			3	19,70	15,10	2,25	20,10	2,90
			4	15,50	10,50	1,64	18,00	2,10
		84	1	14,80	11,10	1,34	15,90	1,78
			2	11,10	7,67	1,03	11,10	1,41
			3	18,10	13,60	2,02	21,10	2,63
			4	12,20	8,62	1,34	15,30	1,83
		85	1	10,30	8,43	1,41	10,60	1,83
			2	15,00	12,00	1,75	15,60	2,37
			3	9,73	7,55	0,88	10,90	1,22
			4	17,20	11,40	1,75	17,20	2,33
		86	1	26,10	14,40	2,14	26,10	2,90
			2	11,90	7,67	1,34	12,30	1,91
			3	10,60	9,00	1,56	11,00	1,98
			4	19,00	12,00	1,98	20,10	2,63
		87	1	30,10	20,70	2,48	33,70	3,70
			2	11,40	9,57	1,49	11,60	1,95
			3	15,10	10,30	1,60	16,00	2,06
			4	8,81	8,39	1,34	10,60	1,72

		88	1	9,42	7,93	1,22	9,46	1,56
			2	8,24	6,52	0,95	8,54	1,30
			3	7,78	6,83	1,07	8,66	1,37
			4	8,70	6,60	0,95	9,35	1,26
		89	1	17,80	10,90	1,41	17,80	2,02
			2	9,92	7,44	0,99	9,92	1,37
			3	19,50	14,60	1,91	23,70	2,82
			4	5,04	4,65	7,29	5,49	0,84
		90	1	21,30	11,10	1,78	22,90	2,90
			2	8,96	6,52	1,18	11,50	1,56
			3	10,50	8,74	1,18	11,90	1,56
			4	16,60	11,20	1,56	16,60	2,10
		91	1	26,70	15,50	2,90	30,30	4,01
			2	13,80	11,70	1,49	14,70	2,14
			3	13,70	9,69	1,22	16,30	1,68
			4	17,40	13,00	1,83	19,30	2,48
		92	1	13,50	8,47	1,30	14,50	1,75
			2	13,80	8,70	1,34	13,80	1,95
			3	24,60	16,60	2,33	28,40	3,17
			4	10,40	8,51	1,41	10,90	1,83
		93	1	11,10	9,69	1,56	12,40	2,02
			2	10,90	9,00	1,41	11,70	1,83
			3	10,40	8,32	1,18	10,70	1,56
			4	10,70	7,90	1,30	10,90	1,68
		94	1	21,50	14,40	2,17	23,20	2,94
			2	13,30	10,10	1,56	13,50	2,06
			3	0,89	0,75	0,12	0,94	0,16
			4	16,70	11,00	1,64	19,90	2,25
		95	1	10,60	8,96	1,53	12,80	1,95
			2	7,59	5,80	0,88	8,28	1,14
			3	11,50	8,51	1,49	12,30	1,95
			4	9,57	7,74	1,18	10,50	1,53
		96	1	17,20	8,28	1,18	17,20	1,64
			2	12,80	8,62	1,11	14,50	1,53
			3	6,79	6,07	0,72	7,40	1,03
			4	8,96	7,13	0,99	9,84	1,34
		97	1	4,81	3,74	0,46	5,04	0,65
			2	13,20	10,50	1,64	15,30	2,17
			3	6,98	6,10	1,14	7,71	1,41
			4	18,50	12,40	2,06	19,50	2,75
		98	1	12,70	7,10	1,03	12,70	1,37
			2	9,46	8,20	1,18	10,70	1,56
			3	11,30	8,93	1,45	13,40	1,79
			4	11,70	8,51	1,26	11,70	1,64
		99	1	18,50	14,30	2,06	23,70	2,75
			2	10,60	8,43	1,56	10,60	1,95
			3	14,30	10,80	1,91	14,40	2,40
			4	10,00	8,47	1,34	11,80	1,72
		100	1	13,00	9,27	1,34	13,00	1,75
			2	12,70	8,89	1,30	13,80	1,75
			3	15,80	9,04	1,53	15,80	2,10
			4	10,40	8,77	1,34	11,70	1,75
18.08.2011	Woche 20	101	1	12,10	9,54	1,49	13,50	2,15
			2	9,23	7,25	1,03	9,69	1,37
			3	30,90	18,50	2,06	32,40	2,90
			4	15,00	10,30	1,68	15,20	2,17
		102	1	14,60	13,60	2,37	17,90	3,01
			2	13,80	8,58	1,30	13,80	1,75
			3	13,90	10,50	1,56	13,90	2,06
			4	10,60	7,40	1,26	10,80	1,68
		103	1	16,10	8,81	0,99	16,10	1,41
			2	11,50	7,90	1,03	11,50	1,41
			3	11,60	7,78	1,34	11,60	1,72
			4	9,61	6,14	0,92	9,61	1,30
		104	1	17,80	10,60	1,49	17,80	2,21
			2	14,00	10,10	1,56	14,00	2,17
			3	8,35	6,98	1,18	10,20	1,49
			4	14,90	9,80	1,56	14,90	2,10
		105	1	8,62	6,14	0,95	8,62	1,30
			2	11,90	8,01	1,34	12,20	1,75
			3	8,81	5,07	0,72	8,81	1,07
			4	9,77	8,39	1,41	11,60	1,79

		106	1	12,40	9,19	1,03	14,10	1,49
			2	8,54	6,79	0,99	8,93	1,34
			3	15,30	11,40	1,83	18,30	2,44
			4	7,47	6,56	0,95	7,82	1,26
		107	1	17,40	13,00	1,91	17,40	2,56
			2	8,39	5,15	0,76	8,58	1,07
			3	10,10	7,67	0,95	11,80	1,30
			4	14,80	8,28	0,99	17,30	1,41
		108	1	15,00	10,20	1,64	15,00	2,14
			2	13,50	10,60	1,75	13,50	2,29
			3	15,80	11,40	1,83	16,70	2,40
			4	11,70	10,10	1,49	14,00	1,95
		109	1	12,30	8,93	1,72	12,30	2,17
			2	15,70	9,84	1,53	16,90	1,98
			3	27,90	15,40	1,83	28,10	2,71
			4	8,43	7,93	1,34	9,77	1,72
		110	1	9,35	6,83	1,03	9,35	1,34
			2	7,13	6,10	0,95	7,86	1,22
			3	9,73	8,20	1,30	10,20	1,72
			4	20,80	10,90	1,18	24,60	1,91
		111	1	7,17	6,37	1,03	7,32	1,30
			2	16,60	10,00	1,26	16,60	1,68
			3	10,00	7,71	1,14	10,00	1,49
			4	11,70	7,93	1,26	11,70	1,64
		112	1	10,50	8,43	1,34	11,20	1,72
			2	14,10	11,20	1,56	17,90	2,06
			3	32,80	14,50	1,41	35,10	2,25
			4	11,70	8,70	1,30	12,70	1,68
		113	1	10,00	7,71	1,11	11,60	1,53
			2	9,35	8,96	1,37	11,20	1,75
			3	16,90	10,90	1,79	16,90	2,25
			4	9,80	7,13	1,18	9,80	1,49
		114	1	12,50	7,90	1,07	12,60	1,45
			2	9,31	7,63	1,07	10,90	1,45
			3	10,50	8,20	1,34	10,20	1,72
			4	17,30	8,47	0,92	19,80	1,41
		115	1	13,70	10,50	1,49	16,90	1,98
			2	8,51	7,25	1,22	9,35	1,64
			3	11,90	9,80	1,53	12,00	2,02
			4	8,66	6,75	1,22	8,66	1,56
		116	1	12,50	10,40	1,30	14,60	1,75
			2	10,50	8,77	1,49	13,50	1,95
			3	35,60	15,60	1,91	35,60	2,71
			4	10,30	7,29	1,11	10,80	1,53
		117	1	18,00	12,80	1,68	18,70	2,21
			2	14,40	9,88	1,37	15,90	1,79
			3	35,50	17,20	2,90	48,10	5,15
			4	13,60	9,46	1,34	15,30	1,75
		118	1	12,80	9,35	1,26	12,80	1,72
			2	14,80	9,88	1,45	14,80	1,91
			3	12,10	8,24	1,49	14,60	2,02
			4	12,30	9,77	1,60	13,20	2,02
		119	1	15,00	9,50	1,41	15,00	1,83
			2	8,81	6,41	1,03	9,65	1,37
			3	12,80	10,10	1,22	14,30	1,60
			4	8,66	7,86	1,14	9,38	1,49
		120	1	12,90	10,50	1,49	14,70	1,95
			2	13,20	9,69	1,56	13,50	1,98
			3	12,50	10,10	1,49	12,50	1,98
			4	10,60	9,65	1,60	10,90	2,02
15.09.2011	Woche 24	121	1	19,70	10,00	1,30	19,70	1,83
			2	15,20	10,50	1,45	15,20	1,95
			3	11,70	6,64	0,92	11,70	1,22
			4	9,12	7,25	1,22	9,12	1,53
		122	1	13,00	4,62	0,65	13,00	1,30
			2	9,42	8,16	1,34	9,42	1,64
			3	11,30	7,93	1,30	11,30	1,64
			4	10,80	8,09	1,18	11,00	1,56
		123	1	15,40	11,10	1,79	17,30	2,40
			2	7,21	6,26	0,99	7,37	1,26
			3	7,74	6,52	0,99	10,90	1,34
			4	7,97	6,18	1,03	7,96	1,30

		124	1	7,71	6,48	0,80	8,13	1,07
			2	9,12	7,10	1,07	10,20	1,45
			3	11,90	8,28	0,92	12,30	1,26
			4	6,90	5,84	0,92	7,36	1,14
		125	1	10,00	9,42	1,56	11,50	2,02
			2	10,50	8,66	1,60	11,30	2,02
			3	12,10	8,09	1,18	12,10	1,56
			4	13,20	10,90	1,75	14,90	2,21
		126	1	10,80	8,43	1,22	11,20	1,56
			2	15,10	13,50	2,25	16,60	2,90
			3	19,80	13,50	1,83	19,80	2,40
			4	15,00	12,60	1,95	16,50	2,48
		127	1	12,20	8,70	1,56	12,90	2,10
			2	18,00	10,10	1,37	20,00	1,95
			3	8,96	7,48	1,26	10,10	1,60
			4	26,70	11,60	1,60	26,70	2,40
		128	1	11,30	9,16	1,18	13,10	1,60
			2	9,77	7,32	0,99	10,20	1,37
			3	9,96	8,09	1,14	10,60	1,45
			4	10,60	8,54	1,18	11,80	1,53
		129	1	8,16	7,21	1,26	9,08	1,60
			2	23,80	10,70	1,41	23,80	2,14
			3	20,40	12,80	1,72	21,30	2,33
			4	10,50	7,36	1,22	11,20	1,56
		130	1	9,08	6,79	0,88	9,08	1,14
			2	5,61	4,92	0,76	5,68	0,99
			3	17,00	15,10	2,14	18,50	2,82
			4	18,30	7,57	0,84	18,50	1,34
		131	1	9,69	8,32	1,22	10,20	1,56
			2	8,51	7,63	1,30	9,38	1,64
			3	20,30	9,88	1,22	20,30	1,75
			4	8,05	7,44	1,18	9,31	1,49
		132	1	15,00	11,40	1,72	15,20	2,25
			2	17,70	12,50	1,87	17,70	2,67
			3	11,90	9,77	1,64	13,30	2,06
			4	18,20	13,20	1,98	18,20	2,71
		133	1	9,80	7,71	1,14	11,50	1,56
			2	7,51	6,56	1,03	8,09	1,34
			3	12,20	7,31	1,03	12,20	1,37
			4	9,19	6,90	1,18	9,27	1,53
		134	1	26,40	14,50	1,37	27,30	2,29
			2	11,30	7,97	1,37	12,00	1,83
			3	7,82	6,03	0,92	8,05	1,26
			4	16,70	10,10	1,56	19,30	2,10
		135	1	16,50	10,40	1,53	16,50	1,45
			2	9,54	6,29	0,84	9,54	1,18
			3	13,50	9,35	1,34	14,80	1,72
			4	8,01	7,25	1,11	8,13	1,45
		136	1	15,70	13,00	1,87	18,00	2,44
			2	11,90	9,04	1,22	11,90	1,68
			3	33,90	16,20	1,53	33,90	2,75
			4	11,40	8,58	1,26	11,40	1,68
		137	1	14,70	10,20	1,79	14,70	2,33
			2	11,00	9,50	1,45	12,80	1,87
			3	39,90	24,30	3,32	39,90	4,88
			4	10,50	9,12	1,22	10,70	1,68
		138	1	16,40	9,54	1,26	16,40	1,72
			2	8,70	6,98	1,11	9,16	1,45
			3	16,10	13,00	1,64	16,10	2,17
			4	21,90	9,50	1,26	21,90	1,98
		139	1	10,70	9,61	1,41	10,80	1,75
			2	15,00	10,80	1,60	16,00	2,06
			3	15,40	12,30	1,83	17,40	2,37
			4	15,60	12,70	1,68	19,20	2,25
		140	1	15,30	10,50	1,68	16,60	2,29
			2	19,50	9,80	1,14	19,50	1,60
			3	9,16	7,06	0,99	9,16	1,37
			4	8,54	5,34	0,80	9,38	1,14
13.10.2011	Woche 28	141	1	10,30	8,85	1,45	12,20	1,83
			2	11,00	9,88	1,34	11,60	1,75
			3	12,30	8,58	1,22	12,30	1,60
			4	11,10	9,88	1,37	13,30	1,75
		142	1	15,40	7,74	1,30	15,40	1,91
			2	19,30	11,90	1,56	19,30	2,14
			3	15,90	10,90	1,64	16,00	2,25
			4	21,80	15,10	2,25	26,10	3,24

		143	1	19,10	11,20	1,64	20,50	2,25
			2	8,13	6,87	1,11	9,23	1,41
			3	10,90	7,59	1,14	11,00	1,53
			4	7,93	7,32	1,07	9,16	1,41
		144	1	9,50	7,59	1,26	9,50	1,56
			2	8,05	6,03	0,76	9,42	1,14
			3	16,90	13,50	1,75	18,90	2,48
			4	21,30	9,96	1,03	23,00	1,56
		145	1	6,52	4,45	0,69	6,52	0,92
			2	6,64	6,10	0,88	8,24	1,14
			3	6,56	5,61	0,88	7,02	1,14
			4	10,40	8,01	0,99	10,40	1,34
		146	1	15,80	11,40	1,68	16,20	2,25
			2	20,20	15,70	2,14	25,80	2,94
			3	15,00	10,90	1,75	15,70	2,25
			4	8,43	4,73	0,80	9,27	1,22
		147	1	11,30	9,42	1,41	12,80	1,83
			2	14,20	9,12	1,11	15,10	1,56
			3	20,10	12,80	1,60	20,10	2,21
			4	15,90	10,90	1,91	21,80	2,44
		148	1	8,77	7,51	1,11	9,31	1,45
			2	9,73	7,36	1,07	10,10	1,41
			3	29,90	11,80	1,22	29,90	1,95
			4	10,10	8,35	1,18	10,30	1,53
		149	1	13,10	9,00	1,26	16,30	1,75
			2	11,20	7,93	1,26	11,20	1,64
			3	9,88	7,40	1,14	10,40	1,49
			4	15,10	9,80	1,64	15,10	2,21
		150	1	8,47	6,68	0,95	8,74	1,30
			2	5,61	4,27	0,61	6,29	0,80
			3	8,89	7,93	1,14	9,73	1,45
			4	15,10	9,92	1,30	16,30	1,79
		151	1	17,80	11,90	1,68	17,80	2,25
			2	12,70	7,63	0,99	12,90	1,45
			3	18,30	12,50	1,83	18,30	2,44
			4	11,70	8,43	1,14	12,70	1,56
		152	1	14,50	12,80	1,72	15,80	2,37
			2	11,00	8,13	1,30	12,00	1,68
			3	26,70	13,90	2,17	29,30	3,01
			4	12,10	9,77	1,34	14,80	1,87
		153	1	16,90	10,20	1,34	16,90	1,91
			2	17,10	12,60	1,83	17,30	2,37
			3	16,70	13,80	2,21	20,30	1,82
			4	10,00	9,23	1,41	11,30	1,83
		154	1	11,80	9,69	1,56	13,30	2,02
			2	13,80	9,23	1,11	14,30	1,72
			3	11,70	8,70	1,34	12,20	1,72
			4	17,90	14,40	2,06	17,90	2,63
		155	1	9,65	8,35	1,37	10,80	1,79
			2	9,84	7,74	1,14	10,10	1,53
			3	17,50	11,40	1,03	18,10	1,60
			4	8,35	7,63	1,26	8,66	1,60
		156	1	13,20	10,00	1,60	13,20	1,98
			2	14,30	10,10	1,53	14,30	1,95
			3	9,38	7,78	1,37	9,46	1,72
			4	33,00	13,50	1,60	33,00	2,86
		157	1	29,40	19,10	2,67	34,40	3,85
			2	15,20	8,24	1,03	15,20	1,49
			3	8,54	6,29	0,99	8,54	1,30
			4	7,13	6,14	0,95	7,36	1,26
		158	1	11,80	9,65	1,26	14,60	1,72
			2	9,61	7,21	1,18	10,90	1,53
			3	15,20	12,20	1,72	16,70	2,33
			4	9,19	6,71	1,07	9,19	1,37
		159	1	10,60	9,19	1,49	11,80	1,91
			2	10,40	7,44	1,34	10,40	1,64
			3	10,80	8,74	1,30	11,90	1,72
			4	11,40	8,93	1,41	11,60	1,83
		160	1	11,40	7,21	0,92	11,90	1,30
			2	11,10	9,19	1,53	11,70	1,98
			3	12,50	10,40	1,95	12,70	2,37
			4	30,90	13,10	1,64	30,90	2,52
10.11.2011	Woche 32	161	1	10,20	8,05	1,37	11,00	1,75
			2	10,10	7,93	1,26	11,90	1,64
			3	13,00	9,80	1,72	13,00	2,17
			4	10,10	7,63	1,18	11,50	1,53
		162	1	18,90	12,90	1,79	18,90	2,37
			2	9,92	8,01	1,22	10,50	1,56
			3	18,40	8,58	1,07	19,10	1,56
			4	10,80	8,66	1,45	10,80	1,79

163	1	14,80	8,66	1,22	14,90	1,72
	2	17,90	13,80	2,17	17,90	2,78
	3	12,70	6,71	1,18	12,70	1,68
	4	16,30	13,20	2,29	16,90	2,98
164	1	12,80	7,29	0,95	12,80	1,49
	2	13,10	8,74	1,26	13,10	1,68
	3	13,50	10,20	1,49	14,90	1,98
	4	11,80	7,17	1,11	13,10	1,53
165	1	22,60	12,00	1,56	22,60	2,25
	2	10,50	8,81	1,45	10,90	1,83
	3	10,90	8,43	1,37	11,20	1,79
	4	10,70	8,54	1,53	11,90	1,98
166	1	15,10	11,90	1,75	15,10	2,33
	2	21,10	14,10	1,75	22,40	2,59
	3	9,61	6,41	0,95	9,61	1,41
	4	20,00	12,70	1,68	20,00	2,33
167	1	10,80	7,71	1,07	11,40	1,45
	2	12,70	8,01	1,37	12,70	1,75
	3	10,00	7,82	1,07	10,80	1,37
	4	9,23	6,94	0,99	9,57	1,30
168	1	4,54	3,32	0,50	4,54	4,08
	2	16,90	13,80	2,14	21,60	2,82
	3	22,40	15,40	2,14	22,50	2,67
	4	21,80	14,80	2,33	23,30	2,98
169	1	11,20	7,40	0,92	11,50	1,37
	2	10,10	7,29	1,07	10,70	1,45
	3	12,60	9,04	1,03	12,60	1,45
	4	14,00	9,73	1,53	14,70	2,06
170	1	11,00	7,63	1,03	11,00	1,37
	2	10,90	7,55	1,18	12,80	1,64
	3	14,60	9,08	1,22	16,40	1,75
	4	11,80	8,66	1,45	14,00	1,87
171	1	7,90	5,84	0,80	8,96	1,14
	2	13,30	10,40	1,60	13,30	2,02
	3	9,92	7,55	1,22	9,92	1,60
	4	12,40	10,10	1,60	12,40	2,02
172	1	13,00	9,46	1,34	13,70	1,79
	2	11,30	9,08	1,49	11,70	1,87
	3	11,30	10,10	1,56	13,10	2,02
	4	8,70	8,35	1,37	9,46	1,75
173	1	10,90	8,66	1,11	11,90	1,49
	2	10,10	7,90	1,11	11,00	1,45
	3	13,00	8,89	1,56	13,00	2,10
	4	8,62	7,21	1,07	9,23	1,41
174	1	10,00	8,01	1,11	10,50	1,49
	2	10,20	8,54	1,34	10,30	1,72
	3	18,60	13,40	1,98	18,60	2,59
	4	10,90	8,24	1,45	12,10	1,79
175	1	15,90	10,00	1,53	15,90	2,10
	2	7,97	7,17	1,03	8,35	1,30
	3	8,62	6,90	1,18	9,23	1,56
	4	10,20	6,90	1,11	10,20	1,41
176	1	11,10	9,23	1,53	12,10	1,95
	2	22,40	10,00	1,37	22,40	2,06
	3	9,88	8,20	1,18	9,92	1,53
	4	9,08	7,17	1,11	9,08	1,45
177	1	15,30	9,73	1,49	15,30	1,98
	2	15,50	9,92	1,37	15,90	1,83
	3	11,90	8,28	1,14	11,90	1,53
	4	8,70	6,64	0,95	9,16	1,30
178	1	22,00	14,20	1,53	22,60	2,33
	2	10,10	8,39	1,34	11,40	1,68
	3	15,00	9,84	1,41	17,10	1,87
	4	8,20	7,48	1,30	9,23	1,64
179	1	18,00	7,82	0,99	18,00	1,53
	2	11,70	7,40	0,99	11,70	1,41
	3	8,39	5,61	0,65	8,93	0,99
	4	9,96	6,68	1,03	9,96	1,30
180	1	9,27	6,94	0,95	10,00	1,30
	2	21,10	16,40	2,52	22,20	3,28
	3	8,01	6,29	0,95	8,20	1,26
	4	17,20	12,60	2,06	17,20	2,67

08.12.2011	Woche 36	181	1	14,50	12,80	1,75	19,40	2,44
			2	12,90	6,98	0,95	13,30	1,34
			3	12,50	7,90	1,07	12,50	1,45
			4	7,29	6,68	1,07	8,01	1,37
		182	1	28,20	14,50	1,95	29,50	2,78
			2	13,40	8,81	1,26	14,80	1,72
			3	17,50	11,50	1,68	17,70	2,29
			4	10,80	8,39	1,37	11,80	1,79
		183	1	13,90	10,50	1,37	17,50	2,06
			2	12,20	9,35	1,30	12,90	1,72
			3	8,74	6,98	1,14	8,74	1,49
			4	10,50	7,78	1,26	10,50	1,60
		184	1	13,40	10,70	1,64	15,60	2,14
			2	15,50	10,40	1,45	17,10	1,95
			3	9,92	7,63	1,18	9,92	1,53
			4	23,50	11,90	1,34	23,50	2,10
		185	1	15,50	9,54	1,72	15,50	2,37
			2	13,70	10,00	1,64	13,70	2,14
			3	12,10	11,00	1,60	13,30	2,10
			4	10,90	9,57	1,49	13,50	1,91
		186	1	4,54	3,32	0,50	4,54	6,98
			2	6,64	5,05	0,72	7,13	0,95
			3	5,49	4,50	0,69	5,68	0,88
			4	3,93	3,24	0,50	3,97	0,65
		187	1	15,20	10,90	1,41	16,30	1,98
			2	12,10	7,59	1,11	12,60	1,49
			3	10,80	7,44	1,11	11,40	1,45
			4	7,51	6,71	1,18	8,16	1,49
		188	1	9,73	7,63	1,14	9,73	1,49
			2	10,20	7,21	1,18	10,20	1,49
			3	13,00	8,89	1,22	13,00	1,60
			4	11,90	9,50	1,53	13,80	1,98
		189	1	8,28	7,71	1,11	8,78	1,41
			2	9,35	8,43	0,92	10,30	1,34
			3	12,10	9,27	1,18	14,30	1,68
			4	11,50	8,13	1,03	13,60	1,41
		190	1	20,30	15,30	2,75	20,30	3,51
			2	12,50	9,00	1,37	13,50	1,83
			3	14,70	8,58	1,22	15,00	1,75
			4	10,10	8,09	1,64	11,00	2,02

Biege- und Brucheigenschaften

Datum	Wochen Wasserlage-rung	Probe	**Biegemodul E** in MPa	**Biegefestig-keit** in MPa	**Durchbie-gung bei 15 N** in mm	**Durchbie-gung bei 50 N** in mm	**Kraft im Moment des Bruchs Fmax** in N
08.04.11	1	1	3.110,00	92,90	0,32	1,38	134,94
		2	3.140,00	86,60	0,31	1,36	125,81
		3	3.500,00	84,30	0,27	1,20	122,40
		4	3.470,00	102,00	0,28	1,22	148,25
		5	2.940,00	80,70	0,35	1,48	117,12
		6	3.000,00	86,30	0,33	1,44	125,25
		7	3.360,00	87,90	0,28	1,26	127,60
		8	3.650,00	98,50	0,26	1,15	143,00
		9	3.060,00	93,50	0,32	1,40	135,72
		10	2.950,00	90,50	0,34	1,47	131,37
		11	3.260,00	84,00	0,31	1,31	121,90
		12	3.110,00	80,20	0,32	1,38	116,39
		13	3.100,00	93,90	0,32	1,37	136,33
		14	3.020,00	85,40	0,34	1,43	124,01
		15	3.410,00	97,60	0,29	1,24	141,71
		16	3.380,00	96,80	0,29	1,26	140,63
		17	3.140,00	85,50	0,31	1,34	124,19
		18	3.000,00	87,30	0,33	1,43	126,77
		19	3.020,00	87,00	0,34	1,42	126,29
		20	3.430,00	98,50	0,28	1,23	143,06
29.04.11	4	21	3.230,00	83,50	0,29	1,31	121,20
		22	2.990,00	82,40	0,32	1,44	119,63
		23	3.260,00	87,40	0,30	1,32	126,94
		24	2.950,00	82,00	0,33	1,47	119,00
		25	3.340,00	94,60	0,28	1,27	137,36
		26	3.360,00	87,30	0,28	1,25	126,80
		27	3.000,00	89,20	0,33	1,42	129,54
		28	2.950,00	85,90	0,33	1,46	124,72
		29	3.230,00	90,80	0,30	1,32	131,87
		30	2.950,00	71,80	0,33	1,47	104,31
		31	2.930,00	84,60	0,33	1,46	122,88
		32	2.870,00	83,10	0,35	1,50	120,70
		33	2.960,00	86,50	0,33	1,46	125,58
		34	2.910,00	85,50	0,34	1,49	124,11
		35	2.790,00	77,60	0,36	1,56	112,64
		36	2.930,00	80,80	0,34	1,46	117,28
		37	3.020,00	61,20	0,32	1,39	88,91
		38	3.300,00	88,10	0,28	1,27	127,96
		39	2.690,00	71,60	0,38	1,58	103,96
		40	2.880,00	71,50	0,34	1,49	103,85
27.05.11	8	41	3.010,00	80,10	0,34	1,44	116,34
		42	2.960,00	74,00	0,35	1,47	107,51
		43	2.970,00	83,10	0,35	1,47	120,59
		44	3.270,00	89,90	0,31	1,31	130,55
		45	2.980,00	87,20	0,33	1,45	126,59
		46	3.080,00	86,50	0,32	1,38	125,67
		47	3.100,00	90,40	0,33	1,40	131,25
		48	3.310,00	90,50	0,31	1,29	131,38
		49	3.020,00	77,70	0,34	1,44	112,81
		50	3.090,00	86,00	0,33	1,44	124,86
		51	2.990,00	85,30	0,34	1,43	123,81
		52	2.900,00	83,60	0,35	1,49	121,36
		53	2.990,00	81,40	0,33	1,43	118,19
		54	2.820,00	78,80	0,35	1,51	114,43
		55	15,20	80,00	1,11	2,23	116,18
		56	2.790,00	73,50	0,36	1,54	106,68
		57	3.250,00	84,40	0,30	1,26	122,48
		58	3.130,00	90,80	0,33	1,37	131,88
		59	-0,90	78,50	1,40	2,57	114,03
		60	2.940,00	85,40	0,35	1,47	123,96

24.06.11	12	61	2.690,00	81,50	0,38	1,59	118,30
		62	3.250,00	90,30	0,30	1,29	131,12
		63	3.260,00	91,70	0,30	1,30	133,14
		64	3.110,00	96,50	0,32	1,35	140,15
		65	2.890,00	88,30	0,34	1,46	128,24
		66	2.670,00	83,10	0,39	1,59	120,73
		67	2.970,00	89,70	0,33	1,40	130,20
		68	2.830,00	86,60	0,36	1,48	125,81
		69	2.780,00	79,30	0,36	1,50	115,16
		70	2.780,00	83,70	0,38	1,56	121,54
		71	2.820,00	83,40	0,36	1,46	121,14
		72	2.800,00	84,10	0,36	1,50	122,15
		73	2.810,00	78,10	0,36	1,50	113,40
		74	3.150,00	92,10	0,31	1,32	133,72
		75	2.670,00	80,50	0,38	1,55	116,86
		76	2.860,00	85,70	0,36	1,47	124,37
		77	2.710,00	81,50	0,37	1,53	118,30
		78	2.840,00	88,70	0,35	1,48	128,85
		79	2.700,00	83,10	0,37	1,55	120,71
		80	3.220,00	96,40	0,30	1,27	140,02
22.07.11	16	81	2.990,00	91,90	0,32	1,42	133,50
		82	3.300,00	93,60	0,28	1,27	135,96
		83	3.330,00	91,50	0,28	1,26	132,92
		84	3.190,00	92,10	0,29	1,32	133,73
		85	2.860,00	80,10	0,34	1,50	116,24
		86	2.920,00	79,40	0,34	1,47	115,27
		87	2.980,00	77,10	0,34	1,44	111,96
		88	3.210,00	81,80	0,29	1,31	118,71
		89	3.390,00	98,20	0,28	1,23	142,57
		90	2.970,00	85,40	0,33	1,44	124,01
		91	2.930,00	81,00	0,35	1,46	118,00
		92	2.960,00	89,80	0,33	1,42	130,35
		93	2.940,00	84,30	0,33	1,45	122,41
		94	3.060,00	86,30	0,32	1,38	125,30
		95	2.860,00	72,70	0,36	1,49	105,62
		96	2.810,00	77,00	0,36	1,51	111,80
		97	2.670,00	77,40	0,38	1,60	112,40
		98	2.880,00	83,00	0,34	1,48	120,54
		99	3.210,00	83,00	0,29	1,30	120,50
		100	3.350,00	94,50	0,28	1,25	137,24
19.08.11	20	101	2.710,00	76,00	0,37	1,59	110,41
		102	2.670,00	73,50	0,39	1,61	106,77
		103	3.280,00	84,40	0,29	1,29	122,55
		104	2.820,00	80,80	0,35	1,52	117,28
		105	2.780,00	80,80	0,35	1,55	117,27
		106	2.960,00	75,30	0,35	1,45	109,38
		107	2.720,00	79,20	0,37	1,56	115,02
		108	2.830,00	83,70	0,35	1,52	121,53
		109	2.890,00	82,70	0,35	1,50	120,13
		110	3.300,00	88,50	0,29	1,27	128,47
		111	2.720,00	82,80	0,39	1,57	120,22
		112	3.090,00	85,00	0,31	1,36	123,44
		113	2.950,00	88,10	0,34	1,45	127,98
		114	2.910,00	76,60	0,34	1,48	111,16
		115	2.700,00	79,90	0,37	1,60	116,02
		116	3.210,00	90,20	0,29	1,31	131,00
		117	2.920,00	86,50	0,33	1,46	125,66
		118	3.010,00	84,10	0,32	1,39	122,16
		119	2.950,00	74,90	0,33	1,42	108,69
		120	2.560,00	75,10	0,41	1,70	109,05

16.09.11	24	121	2.790,00	78,10	0,36	1,55	113,36
		122	2.930,00	80,80	0,33	1,47	117,37
		123	2.790,00	76,80	0,36	1,54	111,54
		124	3.110,00	85,60	0,32	1,38	124,23
		125	2.780,00	83,20	0,36	1,55	120,82
		126	2.880,00	79,60	0,35	1,51	115,65
		127	3.260,00	79,10	0,29	1,30	114,82
		128	2.750,00	68,20	0,37	1,57	99,04
		129	3.340,00	96,40	0,28	1,26	139,94
		130	2.910,00	81,20	0,34	1,48	117,94
		131	3.130,00	88,00	0,31	1,34	127,80
		132	2.870,00	83,20	0,36	1,50	120,81
		133	3.260,00	86,70	0,30	1,29	125,96
		134	3.010,00	86,10	0,33	1,43	125,08
		135	2.580,00	77,10	0,40	1,62	111,94
		136	2.900,00	77,90	0,35	1,47	113,06
		137	3.070,00	79,70	0,31	1,38	115,65
		138	2.960,00	86,40	0,33	1,43	125,41
		139	2.910,00	77,60	0,33	1,46	112,70
		140	3.220,00	86,80	0,30	1,30	125,99
14.10.11	28	141	2.810,00	76,90	0,35	1,53	111,65
		142	2.680,00	76,40	0,38	1,62	110,92
		143	3.240,00	85,10	0,30	1,30	123,63
		144	2.940,00	86,20	0,34	1,44	125,17
		145	2.870,00	85,30	0,35	1,49	123,88
		146	1.890,00	84,70	0,34	1,49	122,94
		147	2.630,00	65,80	0,38	1,67	95,57
		148	2.810,00	82,90	0,37	1,55	120,36
		149	2.640,00	79,80	0,39	1,64	115,85
		150	2.820,00	83,70	0,35	1,53	121,56
		151	3.120,00	87,00	0,31	1,35	126,27
		152	3.320,00	90,10	0,29	1,26	130,77
		153	2.670,00	75,70	0,39	1,60	109,96
		154	2.780,00	81,10	0,37	1,55	117,75
		155	3.050,00	86,20	0,32	1,38	125,20
		156	3.010,00	86,30	0,33	1,41	125,34
		157	3.130,00	91,70	0,31	1,35	133,09
		158	2.910,00	84,30	0,34	1,48	122,34
		159	3.160,00	92,30	0,30	1,33	134,02
		160	2.780,00	81,40	0,36	1,54	118,24
11.11.11	32	161	3.050,00	82,00	0,32	1,41	119,22
		162	2.880,00	75,40	0,34	1,49	109,55
		163	2.940,00	78,40	0,33	1,46	113,77
		164	3.550,00	95,50	0,26	1,17	138,67
		165	2.850,00	77,70	0,36	1,51	112,87
		166	3.100,00	81,00	0,32	1,38	118,15
		167	3.610,00	103,00	0,25	1,14	148,88
		168	3.090,00	80,20	0,32	1,38	116,46
		169	2.820,00	70,80	0,36	1,58	102,83
		170	3.090,00	84,40	0,32	1,38	122,54
		171	2.980,00	81,40	0,33	1,43	118,16
		172	3.310,00	89,50	0,29	1,26	129,93
		173	2.960,00	79,60	0,33	1,43	115,60
		174	2.970,00	77,10	0,34	1,44	111,98
		175	3.390,00	85,70	0,28	1,24	124,44
		176	3.000,00	81,90	0,32	1,40	118,98
		177	2.870,00	75,40	0,35	1,48	109,55
		178	2.780,00	73,80	0,36	1,54	107,19
		179	2.930,00	78,40	0,34	1,45	113,88
		180	3.530,00	83,80	0,26	1,17	121,69

09.12.11	36	181	2.890,00	75,50	0,34	1,47	109,68
		182	3.710,00	83,50	0,25	1,12	121,20
		183	3.170,00	76,50	0,31	1,33	111,12
		184	3.340,00	89,60	0,28	1,26	130,13
		185	3.150,00	88,60	0,29	1,34	128,64
		186	2.940,00	83,20	0,33	1,46	120,81
		187	3.020,00	76,90	0,33	1,40	111,70
		188	3.010,00	83,90	0,32	1,39	121,78
		189	3.580,00	86,70	0,26	1,15	125,85
		190	3.010,00	78,20	0,34	1,42	113,55